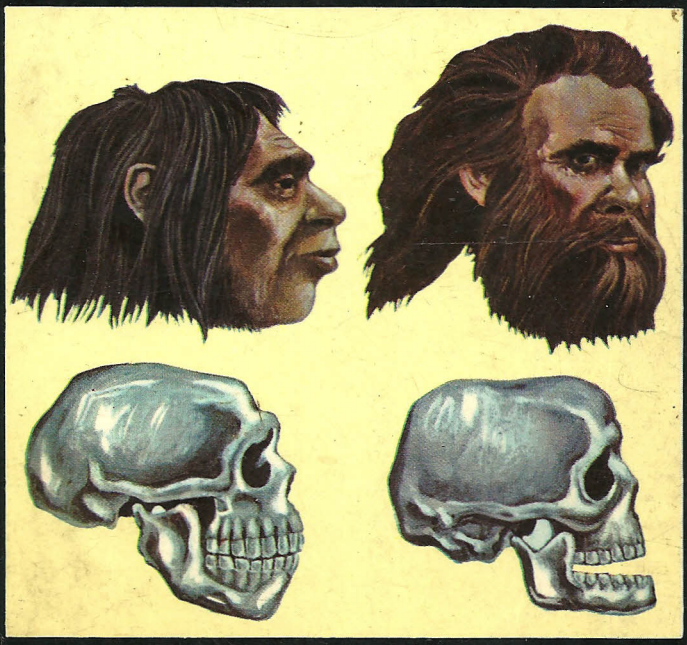
PRISMA

O CONHECIMENTO EM CORES

Catherine Jarman

EVOLUÇÃO DA VIDA



Edições Melhoramentos
Editora da Universidade de São Paulo

COLÉGIO DE CONSULTORES DA SÉRIE PRISMA

Alroino Eble — Instituto de Pré-História da Universidade de São Paulo

Angela Maria Vianna Morgante — Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

Antônio Brito da Cunha — Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

Antônio Giacomini Ribeiro — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Cláudio Gilberto Froehlich — Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

Edmundo Ferraz Nonato — Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

Eudóxia M. Froehlich — Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

Giorgio E. O. Giacaglia — Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo

João S. Morgante — Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

José Carlos Teixeira de Barros Moraes — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Mário Guimarães Ferri — Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

Newton Cyrano Scartezini — Engenheiro, analista de Sistemas da Fundação para o Desenvolvimento Técnico de Engenharia da Universidade de São Paulo

Oscar Matsuura — Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo

Roberto Pereira de Andrade — Jornalista e escritor especializado em Astronáutica

Sérgio Alves — Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo

Setembrino Petri — Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Wolfgang Bücherl — Ex-Chefe da Seção de Artrópodes Peçonhentos do Instituto Butantã

Série Prisma

CATHERINE JARMAN

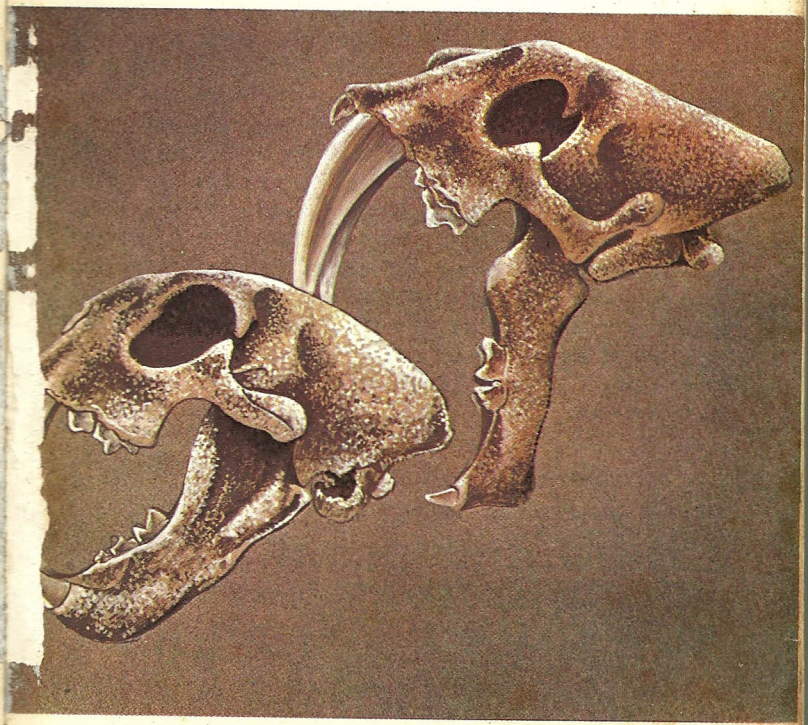
EVOLUÇÃO DA VIDA

Tradução de
Mathilde Mona Cohen

Revisão técnica de
João S. Morgante,
Angela M. Vianna Morgante e
Eurico Cabral de Oliveira Filho

CRAZY THUNIOR

Ilustrações de
Peter Thornley



Edições Melhoramentos
Editora da Universidade de São Paulo

Obra publicada
com a colaboração da

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: Prof. Dr. Orlando Marques de Paiva

EDITORA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Presidente: Prof. Dr. Mário Guimarães Ferri

Comissão Editorial:

Presidente: Prof. Dr. Mário Guimarães Ferri (Instituto de Biociências). **Membros:** Prof. Dr. Antonio Brito da Cunha (Instituto de Biociências), Prof. Dr. Carlos da Silva Lacaz (Faculdade de Medicina), Prof. Dr. Pérsio de Souza Santos (Escola Politécnica) e Prof. Dr. Roque Spencer Maciel de Barros (Faculdade de Educação).

1º reimpressão

Título do original em língua inglesa:
EVOLUTION OF LIFE
© 1970 by The Hamlyn Publishing Group Limited

Todos os direitos reservados
Comp. Melhoramentos de São Paulo, Indústrias de Papel
Caixa Postal 8120, São Paulo
PAx-IX-1975

Nos pedidos telegráficos basta citar o Cód. 7-02-16-011

QUE É "PRISMA"

A Série PRISMA — o Conhecimento em Cores — nasceu da necessidade de se proporcionar ao homem moderno um conjunto de sínteses essenciais, de fácil consulta e manejo, nas áreas mais importantes da ciência e da tecnologia, desde as escavações arqueológicas à conquista espacial.

Constitui-se ela em séria e importante reunião de conhecimentos disponíveis desde descobertas básicas e definitivas até a exposição de audaciosas hipóteses, que estão contribuindo, hoje, para novas aberturas na evolução do saber.

Cada original da série foi elaborado por autor de comprovada competência no respectivo ramo e escrito para ocupar o espaço de um volume de bolso. Os textos estão fartamente documentados por ilustrações a cores. As traduções contaram com a colaboração de especialistas e de professores da Universidade de São Paulo.

A Melhoramentos sente-se realmente entusiasmada por ter encontrado esta série entre as várias coleções de bolso do gênero que pesquisou no mundo inteiro. E é ainda maior o seu entusiasmo em poder colocá-la à disposição do público brasileiro, com o prestigioso estímulo da Editora da Universidade de São Paulo, numa apresentação que, certamente, honrará as tradições editoriais, como mais uma contribuição de valor, neste momento de acelerado desenvolvimento cultural e tecnológico que o mundo está vivendo.

Edições Melhoramentos

CRAZY JHUNIOR

INDICE

3 Apresentação
4 Introdução
8 A Evolução
8 Algumas teorias antigas
20 Evidências da Evolução
20 A Paleontologia
24 A Anatomia Comparada e os órgãos vestigiais
26 A Embriologia
31 A distribuição geográfica
32 O Mecanismo da Evolução
32 Mendel
44 Células e cromossomos
54 A variação
68 A seleção natural
72 O Curso da Evolução
74 Invertebrados marinhos
82 A origem dos vertebrados
106 A era dos répteis
114 A origem do vôo
120 A origem dos mamíferos
149 A evolução da vida vegetal
158 O que há para ler

APRESENTAÇÃO

Os elementos fundamentais da Teoria da Evolução foram vigorosamente combatidos nos primeiros tempos, mas são hoje aceitos pela maioria ou mesmo, talvez, pela totalidade dos cientistas.

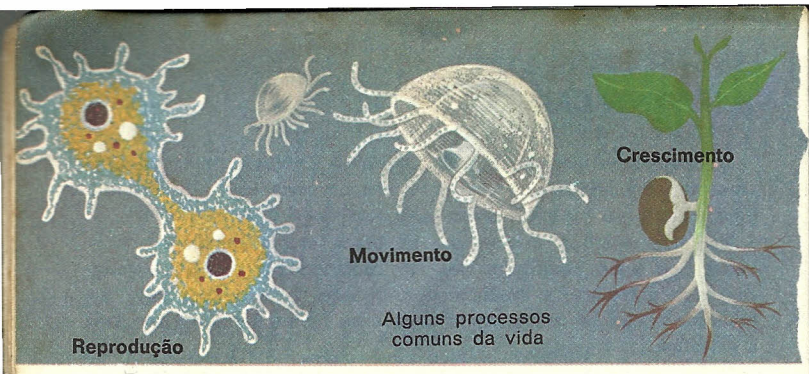
Isso não significa, porém, que tal teoria esteja completa e acabada; que seus postulados tenham recebido comprovação plena, em cada pormenor; e muito menos, que se saiba o "por quê" da evolução e que se conheçam as causas ou fontes das diretrizes que a orientam.

O fato de existirem tantas e tão importantes lacunas nesse ramo do saber torna, por isso, mais necessário fazer-se chegar ao maior número possível de pessoas o conhecimento daquilo que, até agora, ficou definitivamente estabelecido nesse terreno. Só assim teremos, mais tarde, um suficiente número de estudiosos basicamente preparados para se lançarem com êxito às inúmeras investigações que ainda restam por fazer.

Boa preparação nesse campo é garantida por este pequeno livro, que procura traçar a marcha observável da evolução através do tempo, desde que começaram a surgir as primeiras formas de vida, apresentando as provas que já foi possível mobilizar e explicando, com base nas mais recentes descobertas e especulações, o aparente mecanismo desse processo vital.

A autora, que é zoóloga, graduou-se pelas Universidades de Nottingham e Cambridge. Exerceu atividades de pesquisa na Austrália, quer terrestres, no Queensland, quer marinhas, na região do Great Barrier Reef. Retornando à Inglaterra, tornou-se assistente de educação no Zoo de Londres e, também, editora-assistente da Enciclopédia Purnell's de Vida Animal.

Estamos certos de que, com tal experiência, e tão grande pendor pelo assunto versado, a autora conseguirá transmitir ao leitor as idéias básicas gerais que se relacionam com a evolução da vida.



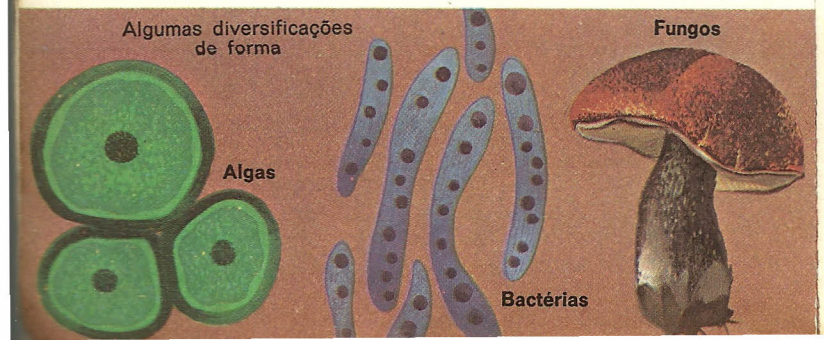
INTRODUÇÃO

A natureza da vida

O que é a vida? Existem muitas respostas a esta pergunta, mas o homem continua buscando a explicação definitiva e completa. Entretanto, todos os seres vivos possuem algumas características básicas, comuns a todos eles.

Existem processos que se verificam tanto em animais como em plantas, e se pode distinguir uma forma viva de uma não-viva após pesquisa científica. Os processos mais conhecidos são o crescimento, o movimento, o metabolismo, a reprodução, a irritabilidade, a alimentação, a respiração e a excreção. Para um perfeito funcionamento, todos esses processos complexos devem ser desempenhados pelos seres vivos.

A matéria básica de todos os organismos vivos é o *protoplasma*. Este não apresenta uma composição padronizada pois varia de um indivíduo para outro. Consiste basicamente em uma complexa mistura de água, compostos orgânicos e certo número de sais. Desde a origem da vida até os dias atuais, todos os organismos vivos, por mais diferentes ou não-relacionados que sejam entre si, partilharam estes processos comuns necessários à continuidade da vida.



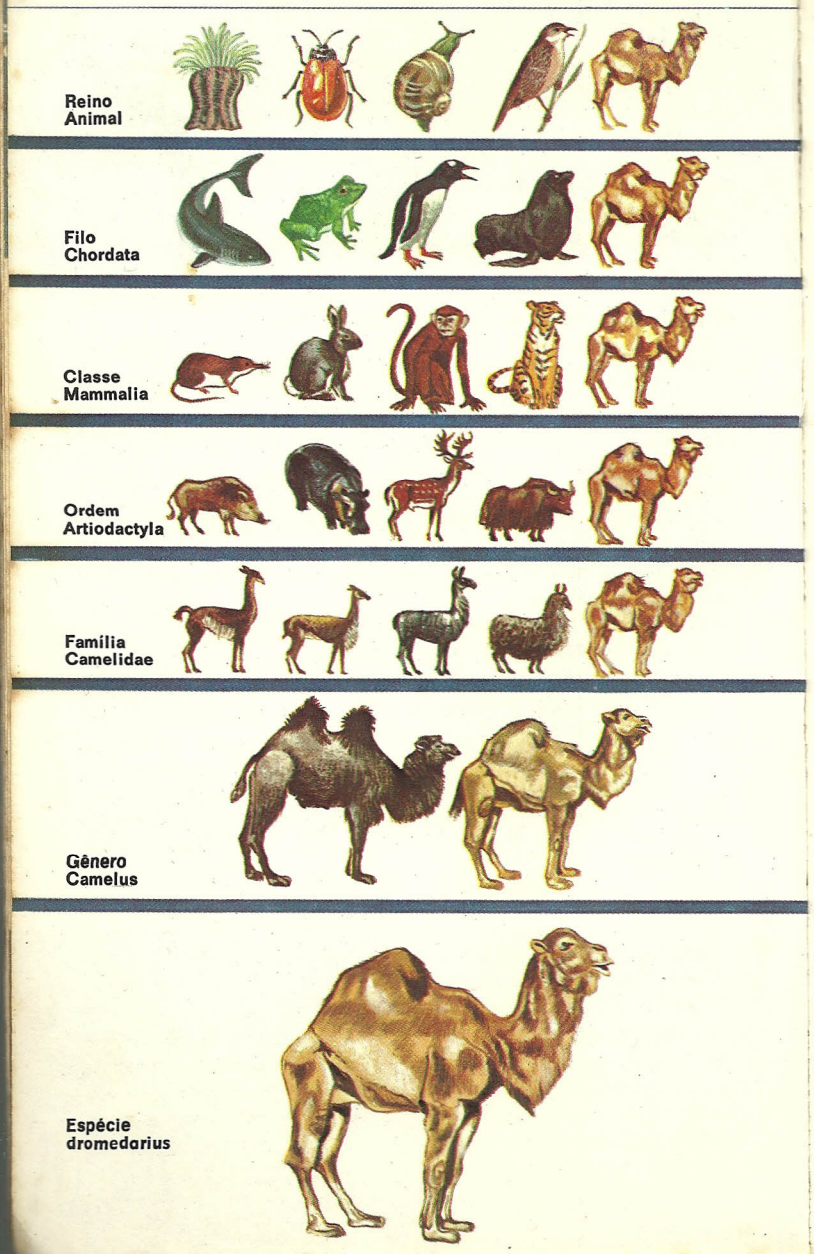
A abundância e a diversidade da vida

Quando se considera o número de indivíduos de qualquer tipo particular de vida animal ou vegetal, se encontram quantidades realmente estonteantes. Por exemplo, uma única fêmea de salmão põe cerca de vinte e oito milhões de ovos numa só estação. Evidentemente, nem todos esses ovos sobrevivem; só uma pequena fração deles é que na realidade dará lugar a uma longa vida. E naturalmente se pode imaginar o caos que se criaria se toda a descendência de cada indivíduo sobrevivesse.

Esta intensa proliferação da vida é um fator básico na evolução dos seres vivos levando, como Darwin o indicou, à seleção natural. Exemplos de numerosas formas de «vida» mostram o número de algumas espécies de certos grupos:

Angiospermas (plantas com flores)	250.000
Talófitas (algas, fungos, liquens)	107.000
Briófitas (hepáticas, musgos)	23.000
Pteridófitas (samambaias, cavalinhas)	10.000
Invertebrados e Vertebrados	1.120.000

Desperta atenção o enorme número de espécies animais, porém, a maior parte, acima de três quartos do total, é constituída somente de insetos.



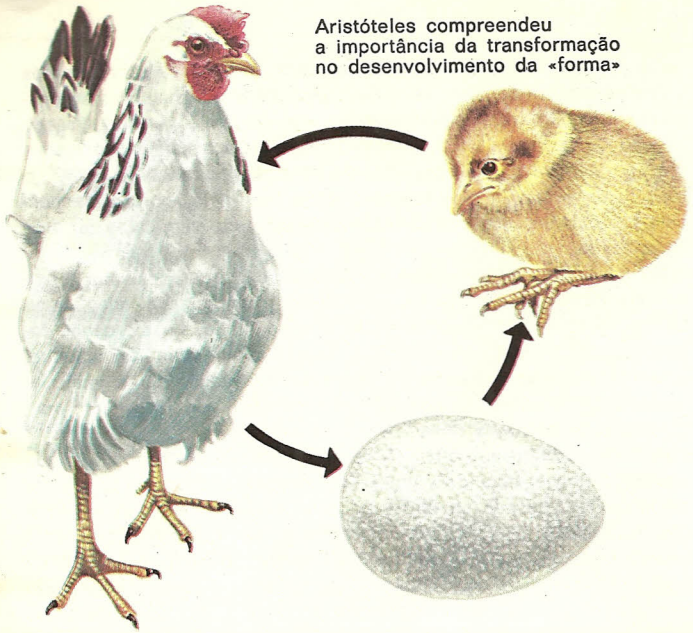
Classificação

Os homens tentaram, durante séculos, ordenar os organismos vivos de alguma forma que correspondesse a um aceitável agrupamento lógico. A ordenação científica em grupos é chamada classificação ou taxionomia. Entretanto, é uma tarefa quase impossível, e até agora ainda não existe uma classificação perfeita. Contudo, os biologistas procuram aperfeiçoá-la cada vez mais, porque nenhum animal ou planta pode ser perfeitamente estudado sem antes ter sido classificado.

No início, os animais foram agrupados de acordo com sua forma de adaptação à vida. Assim, as baleias foram classificadas como peixes, porque viviam no mar. Do mesmo modo, os morcegos foram agrupados com os pássaros, pois podiam voar. No entanto, esta classificação, baseada na forma de adaptação do animal, levou a agrupamentos errôneos e por outro lado não levava em conta a relação existente entre os vários animais.

A fase seguinte foi bem melhor que a anterior, mas era ainda assim imprecisa segundo os padrões modernos. Desta vez, a classificação foi baseada na forma do animal, isto é, em sua morfologia. Foi Lineu (1707-1778), um naturalista sueco, quem melhor desenvolveu tal sistema de classificação. Baseava-se no pressuposto de que existem hoje tantas espécies de animais quantas se produziram durante os seis dias da criação do mundo. As idéias de Lineu seguiam as suposições tradicionais da sua época a respeito das espécies dos seres vivos. Ele estava bem ao par das semelhanças anatômicas existentes entre os tipos ou espécies; entre, por exemplo, o cavalo e o burro, a salamandra e o lagarto, o macaco e o homem. Assim, agrupou corretamente os leões, os tigres e o gatos domésticos no grupo dos *Felidae*. Estes animais, apesar de apresentarem muitas semelhanças entre si, foram agrupados de acordo apenas com o conjunto do seu plano estrutural. Assim, aceitava-se que todas as espécies tinham permanecido inalteradas através dos tempos e que não havia existido qualquer ligação entre elas. Esta forma de classificação, assim como os pressupostos de que partia e as conseqüências a que levava, não sugeriam evolução.

Quando o fato da evolução foi aceito na segunda metade do século XIX, os taxionomistas tentaram evidenciar as relações evolutivas entre animais e plantas. Manteve-se a terminologia usada por Lineu, mas considerou-se uma faixa muito mais ampla de evidências. A morfologia continuou sendo muito importante, mas passou-se a considerar também as indicações fornecidas pelos fósseis (paleontologia), pela genética, pela embriologia, pela imunologia e, também, pela distribuição geográfica dos seres vivos.



Aristóteles compreendeu a importância da transformação no desenvolvimento da «forma»

A EVOLUÇÃO

Algumas teorias antigas

Hoje em dia, a evolução é aceita como um fato indiscutível pela maioria das pessoas. Entretanto, nem sempre foi uma teoria científica. O que é compreensível, pois, afinal, a noção de que a vida evolui não é um pensamento que ocorre imediata e naturalmente à maioria das pessoas.

Muitas idéias sobre a evolução se apresentaram sob formas simbólicas em mitos. Tales (640-546 a.C.) acreditava que a vida provinha da água, enquanto Anaxímenes de Mileto (aproximadamente 500 a.C.) afirmou que tudo provinha do ar. Em sua maioria, as soluções mitológicas estão ligadas a «elementos» tais como a Terra, o Fogo, a Água e o Ar. Houve também outras sugestões fantásticas, embora relativamente recentes. A. Kircher (1601-1680) pensava que as orquídeas davam origem a pássaros e a homens, de pequena estatura; B. de Maillet (1656-1738) reconheceu a verdadeira natureza dos fósseis mas achava que os pássaros tinham derivado de peixes-voadores; os leões, dos leões-marinhos; e os homens, das sereias.

O pensamento teológico, por sua vez, interpretou a idéia de evolução como sendo um ato de Deus. Os hebreus aceitaram o conteúdo do Gênesis, de acordo com o qual os seres vivos foram especialmente criados em seis dias por um deus pessoal e onipotente. Assim, a criação especial foi um ato aparentemente realizado uma vez só e para sempre. Se bem que a narrativa bíblica mencione «seis dias», esta expressão antiga é interpretada como correspondente a seis épocas. A teoria da criação especial se baseia na analogia existente entre a criação do universo por Deus, e a manufatura de objetos pelo homem. No entanto, pode-se dizer que o pensamento teológico e a teoria da evolução são perfeitamente compatíveis se considerarmos que tanto aquele como esta apresentam o mesmo pano de fundo baseado na fecundidade da vida.

As teorias dos filósofos gregos deram origem a outra linha de pensamento quanto ao conceito da evolução. Com sua filosofia biológica, Aristóteles (384-322 a.C.) mostrou a importância da transformação e formulou a teoria das «formas» ou «essências». Ele compreendeu que certa partícula de matéria num ovo de galinha tornava-se, através de estágios definidos, um pintinho. Do mesmo modo, através de numerosas observações, compreendeu a metamorfose completa por que passavam organismos como os sapos e

A Bíblia descreveu uma criação especial em seis dias

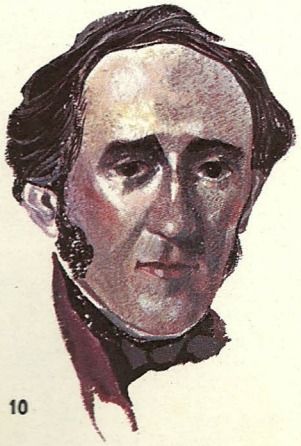
insetos, até que se desenvolvessem definitivamente, ao longo de estágios definidos de transformação. Seu trabalho demonstra que ele concebia a idéia de que a vida começa sob a forma de «matéria» indiferenciada, porém provida de uma «potencialidade» para adquirir uma forma determinada, embora seu conceito se limitasse apenas a indivíduos. Assim, não existe nas idéias de Aristóteles qualquer indício de pensamento evolutivo que o levasse a imaginar uma possível transformação de um indivíduo.

O conceito da criação especial e a filosofia aristotélica das «formas» foram inteiramente suficientes para satisfazer a quase todos durante a Idade Média, e mesmo até durante o Renascimento e a Reforma, períodos em que se poderiam ter esperado formulações renovadoras nesse campo.

Até o século XVIII aceitou-se que a Terra tinha sido criada em 4004 a.C., como decidira o Arcebispo de Armagh (1581-1656). Foi somente no fim daquele século que os rápidos avanços da ciência geológica lançaram dúvida sobre a teoria de que a Terra só tinha 6.000 anos de existência. Muitos duvidaram disso, e sugeriram que seria mais apropriado atribuir a nosso planeta uma idade de muitas centenas de milhares de anos.

Foi durante o fim do século XVII e o início do século XVIII que se começou a avaliar a significação dos fósseis. Até aquela época, acreditava-se que os fósseis se haviam desenvolvido a partir de vapores úmidos carregados de sementes, que sopravam dos mares para dentro das fendas da Terra. Martin Lister (1638-1712) e Robert Hooke (1635-1703) sugeriram uma possível importância da relação entre os fósseis e os estratos em que fossem encontrados. Lister, porém, não pensou que se tratasse de plantas ou animais fossilizados.

Não surgiu nenhuma teoria elucidativa importante até 1788. Nesse ano, James Hutton (1726-1797), um médico de Edimburgo, publicou



Erasmus Darwin (à esquerda) e Cuvier (à direita)

um ensaio intitulado «Uma Teoria sobre a Terra» (1795), em que deu o nome de «uniformitarismo» à sua explicação sobre o passado histórico da Terra. Segundo ele, dilúvios universais assim como generalizadas sublevações de terreno eram fatores desnecessários para se explicar tanto a existência como a natureza dos oceanos e das cadeias de montanhas. Hutton sustentava que os fenômenos terrestres são gradativos por natureza, e que as rochas e os solos apenas sofreram processos de erosão. Suas idéias o levaram a estabelecer que os continentes não podiam ter-se formado em algumas centenas mas em milhões de anos. Subentendia, assim, que a Terra era antiqüíssima, e que seu futuro haveria de ser igualmente longo.

Apesar da indicação de que a Terra havia se alterado, isso ainda não sugeria a transformação de plantas e animais. No início do século XIX, o trabalho de William Smith (1769-1838) contribuiu notavelmente para o estabelecimento do valor dos animais fossilizados no reconhecimento das camadas geológicas.

Foi Cuvier, um professor de Zoologia de Paris, contemporâneo de Smith, que, por ter um conhecimento profundo de anatomia comparada, foi capaz de reconstituir os esqueletos de animais do passado, a partir de ossos ou marcas fósseis.

Este vigoroso esforço no campo das ciências geológicas proporcionou grande riqueza de informações sobre as características dos animais e das plantas. Muitas espécies de animais e vegetais descritas pelos geólogos já estavam extintas, e, assim, começou a se formar a idéia de uma sucessão de tipos diversos de animais através dos tempos. Entretanto, ninguém havia ainda transposto o limiar de uma interpretação evolucionista da vida. Um dos fatos que retardaram esse importante passo foi justamente a interpretação não-evolucionista da vida animal dada pelo próprio Cuvier, em sua teoria do «catastrofismo». Ele concluíra que, em cada período, a respectiva fauna havia sido destruída por uma catástrofe gigantesca, e substituída por outra fauna, provinda de regiões longínquas. O dilúvio de Noé foi considerado como a catástrofe mais recente.

Erasmus Darwin (1731-1802) é mais conhecido por ter sido o avô de Charles Darwin. No entanto, seus pensamentos e suas especulações causaram grande sensação na sua época, tanto na Inglaterra como em todo o continente. Sua obra científica mais notável, intitulada «Zoonomia», foi uma tentativa de descobrir as leis orgânicas da vida. Sua filosofia natural preconizava que o espírito e a matéria são os fundamentos da natureza. A vida, como ele a definia, era devida a uma força especial, a irritabilidade, e todas as manifestações vitais eram devidas à contração de fibras, induzida pela irritação.

Lamarck (à esquerda) e o clássico argumento em favor de sua teoria da evolução (à direita)

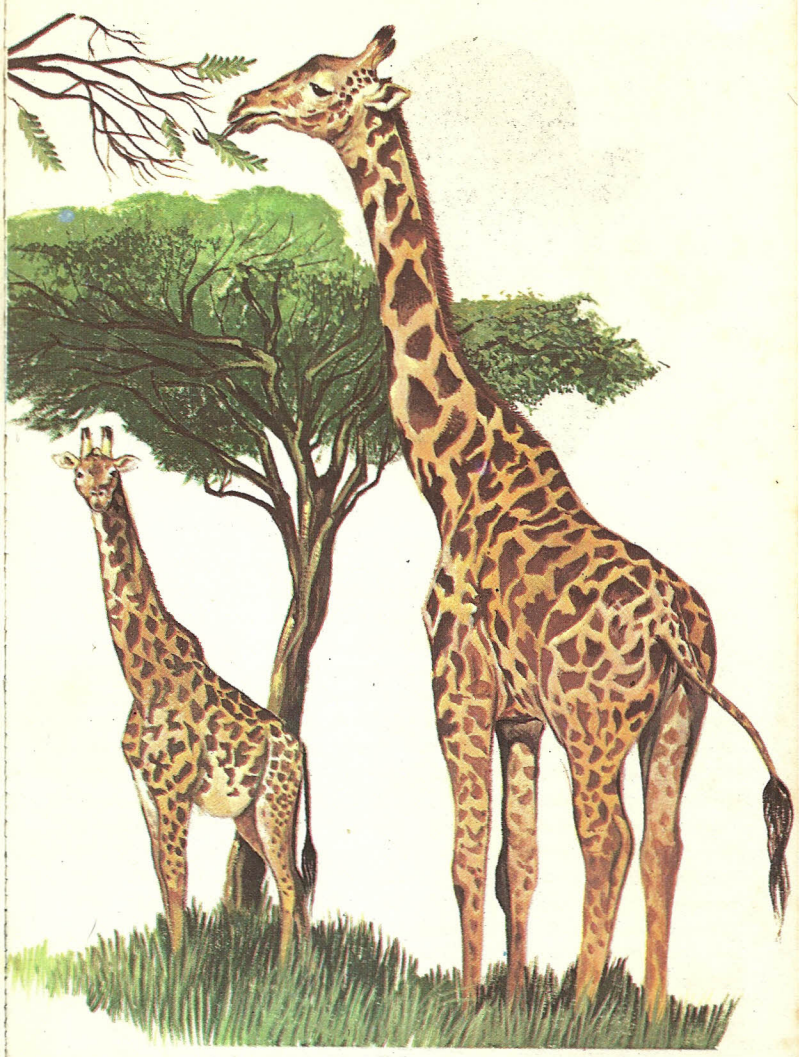
As teorias de Lamarck

Lamarck (1744-1829), um amigo de Cuvier, foi o primeiro a enfrentar o problema da origem das espécies. Declarou audaciosamente que não havia diferença essencial entre espécies e variedades; que tanto estas como aquelas eram sujeitas a mudança; e que a «transformação», e não a «imutabilidade», constituía a base da vida.

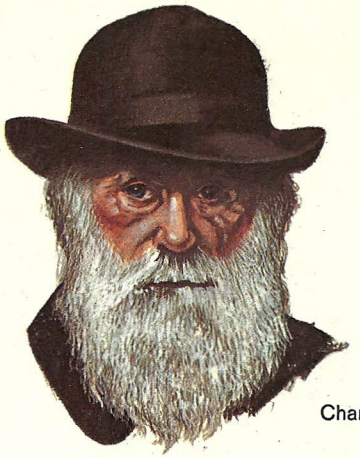
No seu trabalho «Filosofia Zoológica» (1809), Lamarck sugeriu que a transformação das espécies podia ter ocorrido devido à «herança de caracteres adquiridos». Chamou a atenção para o fato de que os animais modificam efetivamente sua forma durante o decorrer de suas vidas. Por exemplo, determinado homem pode desenvolver apreciavelmente sua musculatura, durante a vida, por meio de continuados exercícios físicos. Supondo-se que os caracteres adquiridos eram passados adiante, ou herdados pelos descendentes, a geração seguinte podia nascer com músculos ligeiramente mais fortes. Na sua «Filosofia Zoológica», Lamarck argumenta que, se esta modificação fosse transmitida por várias gerações, poderia dar, como resultado, uma nova espécie.

A girafa é o exemplo clássico citado. Dotada de um pescoço comprido, poderia ter-se desenvolvido a partir de um animal de pescoço curto. A necessidade de altear sempre mais a cabeça afim de alcançar folhagens em níveis cada vez mais altos, ao longo das gerações, teria resultado no alongamento do pescoço. Esta foi a base da teoria de Lamarck: transformação gradual da forma das espécies pelo uso diferenciado de órgãos e aptidões, através dos tempos.

O fato de Lamarck ter sugerido que os animais exercem a vontade para dirigir suas vidas de uma determinada maneira, e a in-



capacidade do autor para explicar a evolução das plantas, evidenciam as falhas de sua teoria. Por outro lado, não realizou experiência alguma, na época, que fornecesse provas do acerto dessa teoria, ao passo que numerosas experiências posteriores não conseguiram comprovar convincentemente tal tipo de herança.



Charles Darwin (1809-1882)

Darwin — Sua vida e suas teorias

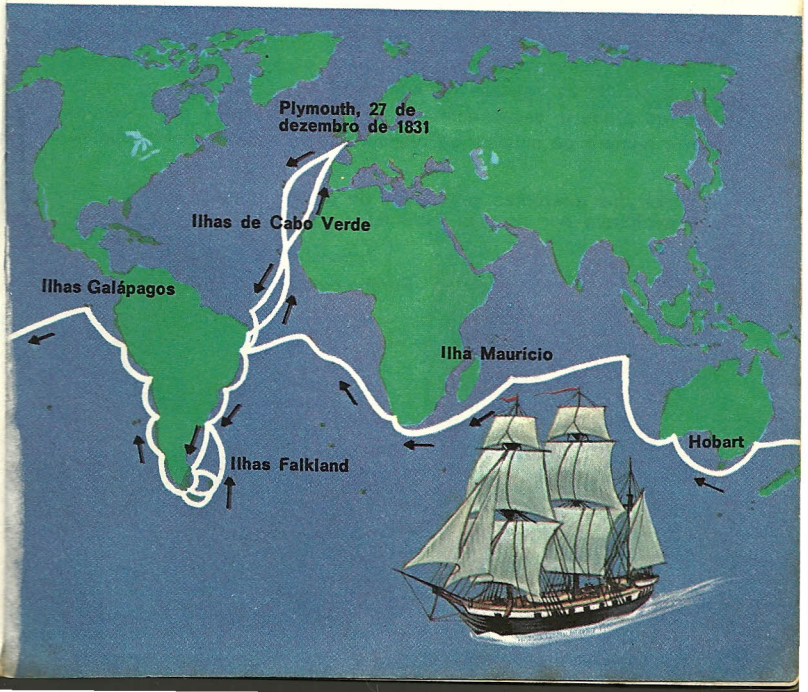
A «Teoria da Evolução» é usualmente associada ao nome de Charles Darwin, o gênio que deu ao mundo, no final da década de 1850, a nova idéia da seleção natural.

Darwin, nascido em Shrewsbury em 1809, era filho de um rico médico. Estudou na escola pública local, onde recebeu os ensinamentos do curso regular, que incluíam versos latinos e gregos, assim como Geografia e História clássicas. Entretanto, interessou-se mais por História Natural, de modo que foi mandado para Edimburgo, a fim de estudar Medicina. Mas, ao assistir à realização de duas operações na forma da época, isto é, sem o uso de anestesia, que não surgira ainda, o jovem Darwin, que só tinha 17 anos, se sentiu repugnado. Dois anos depois, quando ficou patente que não se adaptaria de modo algum à vida médica, voltou para casa em Shrewsbury. Sua família decidiu então que o moço devia dedicar-se aos estudos teológicos. Charles não opôs muita resistência e assim, em 1828, estava em Cambridge. Ao terminar o curso, Darwin estava resignado a receber as ordens sacras quando o destino interveio para fazer com que este homem, aparentemente pouco ambicioso, e sem nome ilustre, mostrasse ao mundo a centelha do seu gênio e a acuidade de seu raciocínio. Seguindo o conselho de seu professor e amigo, John Henslow, Darwin embarcou no H.M.S. Beagle (navio do governo inglês) para uma viagem até a América do Sul, na qualidade de naturalista não remunerado.

Até o momento de sua partida da Inglaterra, Darwin não via razão alguma para duvidar da imutabilidade das espécies. Estudara os «Princípios de Geologia» de Sir Charles Lyell, e adquirira mais conhecimentos básicos do «uniformitarismo» de Hutton que do «catastrofismo» de Cuvier. Entretanto, certas observações feitas durante a expedição fizeram Darwin voltar-se contra a teoria da imutabilidade das espécies.

Em sua viagem às Ilhas Galápagos, ficou surpreendido pelas diferenças existentes em certo grupo de fringilídeos (ver páginas 56 e 57) e perguntou-se por que se criara um número tão fantástico de espécies diversas naquelas ilhas. Do mesmo modo, comparou a fauna das Ilhas Galápagos com a das Ilhas do Cabo Verde, onde, apesar de serem semelhantes as condições físicas, as espécies animais eram muito diferentes; as das Ilhas Galápagos se assemelham às da América do Sul e a fauna de Cabo Verde parece-se com a africana. Nas suas viagens pela América do Sul, Darwin notou que animais de espécies diferentes apresentavam entre si um elevado grau de semelhança nas regiões em que uma espécie e outra estavam separadas por pequenas distâncias.

Durante a viagem que efetuou a bordo do 'Beagle', um navio de pesquisa (1831-1836), Darwin se convenceu de que as espécies evoluem por um processo natural



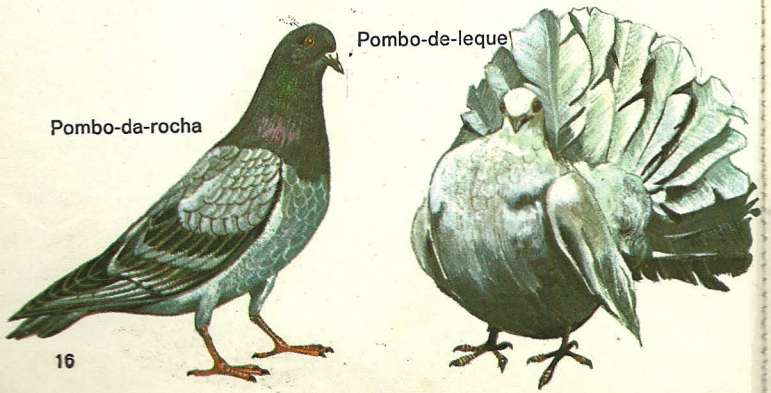
A origem das espécies

De volta à Inglaterra em 1836, Darwin já havia aderido francamente à evolução, porém restava ainda descobrir como estas transformações haviam ocorrido. Já tinha algumas idéias a respeito e fizera numerosas anotações; no entanto, manteve-as em segredo, exceto em relação aos seus amigos mais próximos, Lyell e Hooker. A base de seus pensamentos era a consideração de que as *espécies tinham evoluído através de processos naturais a partir de algumas poucas formas primitivas simples ou mesmo a partir de uma só forma.*

Em Downe, Darwin levou uma vida retirada com sua mulher, uma das filhas da família Wedgwood. Interessou-se particularmente por métodos de criação de animais domésticos e tipos ornamentais, em que se incluíram pombos. Percebeu que os criadores costumavam sempre escolher determinadas características e continuavam selecionando variedades apropriadas através de várias gerações, até obterem o novo tipo desejado. Os que pertenciam a esse novo tipo só reproduziam suas próprias características específicas se fossem acasalados entre si. Esta «seleção artificial» forneceu uma primeira pista, mas como se operaria a seleção de animais no estado selvagem, sem que qualquer ser consciente dirigisse seu curso?

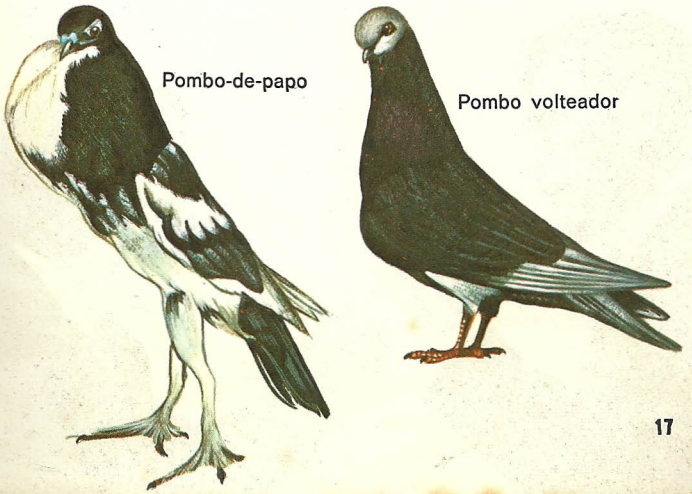
Quando Darwin leu o ensaio «Os Princípios da População», de Thomas Robert Malthus, um pastor inglês, percebeu que, sob condições de competição intensa pela vida entre as plantas, ou animais, assim como entre estes e aquelas, as variações que se mantinham seriam as capazes de aumentar, nos organismos, a capacidade de produzir descendentes férteis. As variações que diminuíssem o número de animais ou plantas seriam eventualmente eliminadas, ocorrendo, assim, uma «seleção natural». Apesar de Darwin ter delineado sua teoria evolucionista em 1838, foram necessários vinte anos para que o público viesse a conhecer suas idéias revolucionárias graças à pressão exercida sobre o autor por Alfred Russel Wallace.

Algumas das diferentes variedades do pombo doméstico que evoluíram por seleção artificial



Apesar de Wallace já ter lido Malthus no início da década de 1840, foi somente em 1847 que se convenceu a respeito da evolução. Nesse mesmo ano, uniu-se a uma expedição de estudos e coleta de espécimes na América do Sul. Mais tarde, trabalhou na Malaia, assim como em arquipélagos a leste da Índia. Cercado de provas da evolução, Wallace escreveu um pequeno artigo, argumentando no sentido de que as espécies deviam ter surgido bem lentamente, mas, como Darwin, perguntava-se de que modo a transformação teria ocorrido. Em 1858, enquanto se recuperava de um ataque de malária, Wallace pensou novamente em Malthus e repentinamente chegou à mesma conclusão que Darwin. Assim, logo que se restabeleceu da doença, escreveu sem demora um ensaio de vinte páginas delineando sua teoria, e o enviou a Darwin, em Kent, perguntando-lhe o que opinava a respeito de sua eventual publicação.

A leitura dos seus próprios pensamentos escritos por outra pessoa, desconhecida e distante, certamente deve ter chocado Darwin. Percebeu, então, que não havia mais tempo a perder. Seguindo os conselhos de seus amigos, escreveu um pequeno artigo expondo seus pontos de vista, e fez uma comunicação em julho de 1858 perante eminentes naturalistas, na Sociedade Lineana de Londres. A seguir, em novembro do ano seguinte, Darwin publicou seu livro «A Origem das Espécies», ou «A Preservação das Raças Favorecidas na Luta pela Vida».

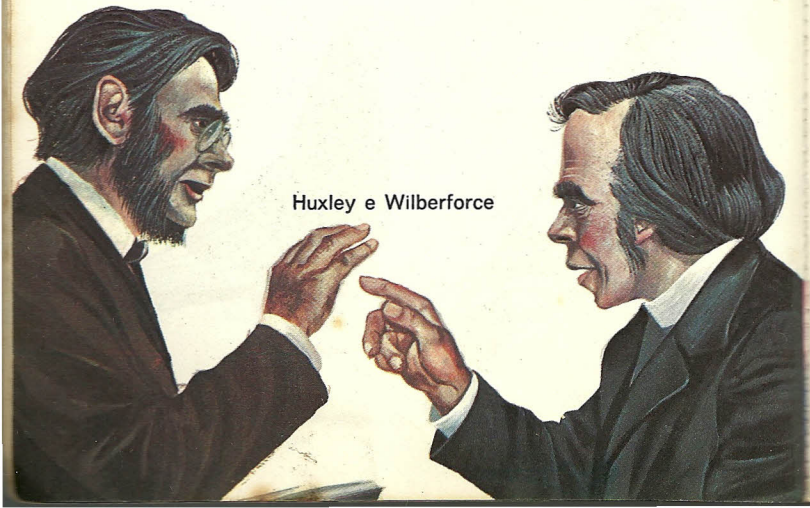


Nesse livro, Darwin apresentou quatro pontos de que ele já tinha certeza, e outros três de que só temos certeza hoje. Podem ser resumidos como segue:

1. **As plantas e os animais dão origem a um número de células reprodutivas incomparavelmente maior que o de seus descendentes adultos.**
2. **O número de indivíduos por espécie permanece mais ou menos constante.**
3. **Por causa disto, deve existir uma taxa de mortalidade alta.**
4. **Os membros de uma mesma espécie não são idênticos, entre si, apresentando variações em todas as suas características.**
5. **Devido a estas variações, alguns são mais bem sucedidos que os demais na competição pela sobrevivência, e os genitores da nova geração serão naturalmente selecionados dentre os indivíduos dotados de uma capacidade de adaptação mais eficiente em face das condições do ambiente.**
6. **A semelhança hereditária entre os pais e os descendentes é um fato.**
7. **Disto decorre que as gerações subseqüentes manterão e aumentarão gradualmente o grau de adaptação conseguido pelos pais.**

A edição do livro esgotou-se no primeiro dia da sua publicação. Apesar de estarem ansiosos por lê-lo, os vitorianos religiosos ficaram profundamente chocados e aborrecidos. A interpretação religiosa e a implicação da evolução do homem a partir do macaco (cuidadosamente evitada por Darwin) começaram a ser amplamente debatidas e discutidas.

Por volta de 1860, tornou-se necessário um debate público. O grupo de ortodoxos foi representado pelo Reverendo Samuel Wilberforce, Bispo de Oxford, e Darwin por Thomas Huxley, um experiente médico cirurgião. Apesar de ser um homem brilhante, Wilberforce não tinha conhecimento algum a respeito das questões evolucionistas e tinha pouco interesse pelas filosofias científicas.



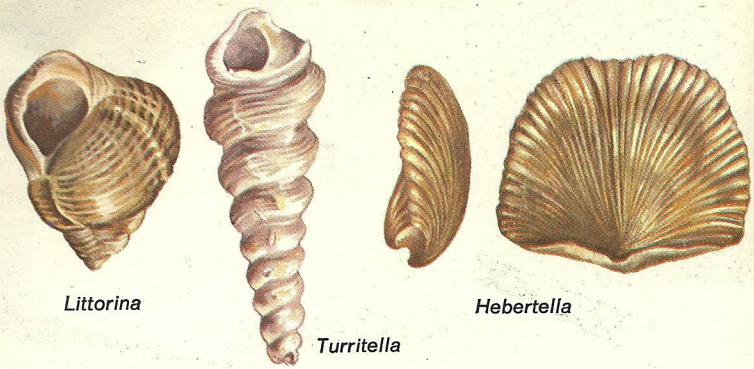
Huxley e Wilberforce

Ao cortar a cauda dos camundongos, de várias gerações sucessivas, Weismann esperava obter uma prova capaz de invalidar a teoria de Darwin

Huxley discorreu de uma maneira objetiva, salientando a falta de atitude científica por parte do bispo; explicou as novas idéias de um modo preciso e realista. No entanto, o debate sobre a evolução não chegou a um resultado definitivo, e, sob certos aspectos, continua até hoje.

Weismann (1834-1914), um biólogo alemão, foi o primeiro crítico importante da teoria da evolução de Darwin e da teoria de Lamarck. Entre 1868 e 1876, escreveu uma série de artigos defendendo a idéia de que as características adquiridas de qualquer variação genética ou somática não podiam ser todas herdadas. Sustentou suas afirmações teóricas com muito pouca prova prática, embora tivesse realizado uma série de experiências primárias, como a de cortar a cauda de camundongos, por várias gerações, para demonstrar que camundongos artificialmente desprovidos de cauda nunca davam origem a camundongos naturalmente sem cauda.

Afirmava que há uma distinção a ser feita entre a parte corpórea de um organismo, ou seja, o *soma*, e as células cuja função é especificamente a de reprodução, isto é, o *plasma germinativo*. Postulou que apenas este último é responsável pela transmissão das características através das gerações. Por outro lado, sustentou que os biólogos deviam levar em conta os cromossomos, identificando-os com as partículas até então hipotéticas, responsáveis pela hereditariedade. A teoria de Weismann foi reconhecida como válida em 1880 e, embora inaceitável hoje em dia, significou, na época, a derrubada dos pontos de vista de Lamarck.



Littorina *Turritella* *Hebertella*

EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO

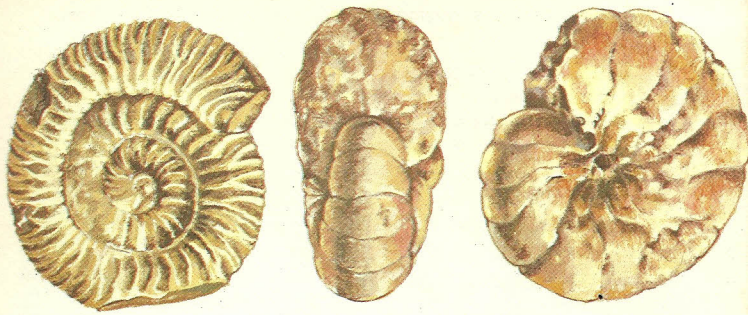
As evidências que permitem confirmar a ocorrência da evolução são numerosas e muito bem definidas. Muitas se relacionam com os documentos fósseis do passado distante. Outras se baseiam em comparações da forma de seres que vivem em nossos dias e na distribuição de animais e plantas.

A Paleontologia

Incontáveis trilhões de animais e plantas têm vivido e morrido na Terra, durante a longa existência desta. De todos eles pode-se afirmar que, comparativamente, muito poucos morreram em lugares onde a sua forma pudesse ter sido conservada. No entanto, descobriu-se uma abundante riqueza de materiais fósseis, se bem que ainda haja um sem-número esperando ser desenterrado. Os fósseis são os restos ou os vestígios de quaisquer estruturas orgânicas reconhecíveis que foram preservados desde o Período Pré-histórico.

Os mais abundantes são os grãos de pólen e os esporos, assim como as conchas de organismos microscópicos que se depositaram no fundo dos mares pré-históricos. Os animais providos de partes duras eram os melhores candidatos à preservação, e, assim, moluscos tais como as ostras e braquiópodes são freqüentemente encontrados ao longo das margens das praias ou a pouca distância da água.

A preservação pode ter ocorrido de diversas maneiras. A petrificação, termo largamente usado com referência aos fósseis, significa «transformação em pedra», se bem que isto haja raramente ocorrido com o corpo completo do animal. Constituem bons exem-



Agoniatites *Stephanoceros*

Seleção de fósseis

plos desse tipo de preservação os imensos troncos fossilizados da floresta petrificada do Arizona, que foram soterrados nas velhas planícies inundadas do Triássico. Foram bem fossilizados devido ao material vulcânico sedimentar que os cobriu, sendo que a sílica contida neste material substituiu gradualmente a madeira.

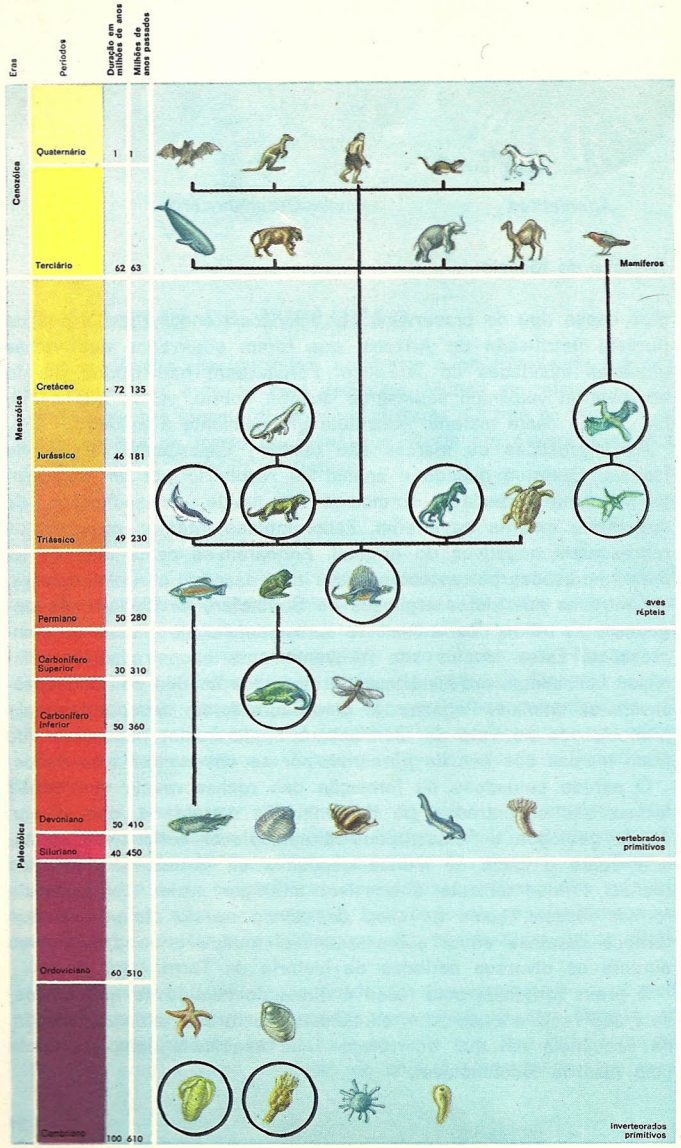
As impressões ou marcas são também importantes formas de fósseis. Ocorrem quando o animal foi recoberto por um sedimento finamente granulado; formou-se um molde, no sedimento, da sua forma externa ou interna. Estes moldes internos ou externos representam negativos do original. Formaram-se desta maneira as duas impressões pertencentes à ave do Triássico, o *Archaeopteryx*, encontradas nos xistos argilosos de Solnhofen, na Baviera. As pegadas e as trilhas dos animais se apresentam como marcas ou compressões. Estes fósseis são freqüentemente encontrados em planícies lamacentas pré-históricas ou em solos úmidos por onde passavam os animais. Pegadas de dinossauro foram descobertas pela primeira vez no vale do Connecticut e, de início, pensou-se que eram marcas dos pés de pássaros, por se observarem três dedos.

O estudo cuidadoso da formação das rochas revela que certas formas são encontradas em determinados estratos e, com a ajuda de geólogos e físicos, pode-se estabelecer estimativas aceitáveis sobre a idade de muitos depósitos de fósseis contidos nas rochas. Freqüentemente é possível interligar séries contínuas de formas fósseis, como no caso do cavalo ou do elefante, o que fornece detalhes sobre como o animal mudou e se desenvolveu durante os diversos períodos da história da Terra.

A prova fornecida pelo fóssil é direta no sentido de que os fósseis são reais e descrevem exatamente as formas extintas de vida, na seqüência em que ocorreram. Uma seqüência completa conta uma história incontestável.

Tabela dos períodos geológicos em que se encontram fósseis

um círculo indica extinção



A escala do tempo geológico

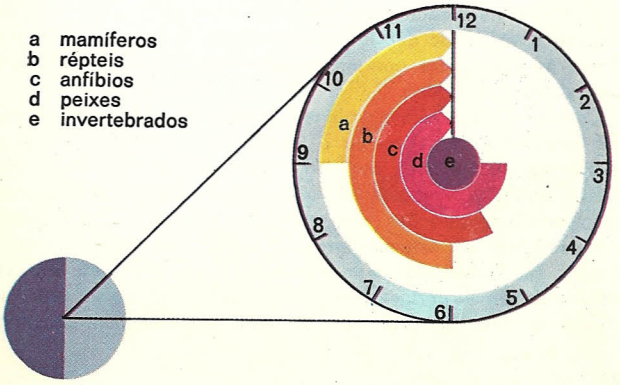
Por meio de métodos baseados nas propriedades radioativas do urânio e do tório, estimativas recentes a respeito da idade da Terra avaliaram-na entre três e cinco bilhões de anos. O estudo dos fósseis ajudou a formar e concretizar uma descrição da ordem segundo a qual as rochas se depositaram ao longo do tempo, e a história da vida. A escala do tempo geológico serve de padrão básico de referência para a descrição e a correlação entre vários eventos isolados na história da vida da Terra.

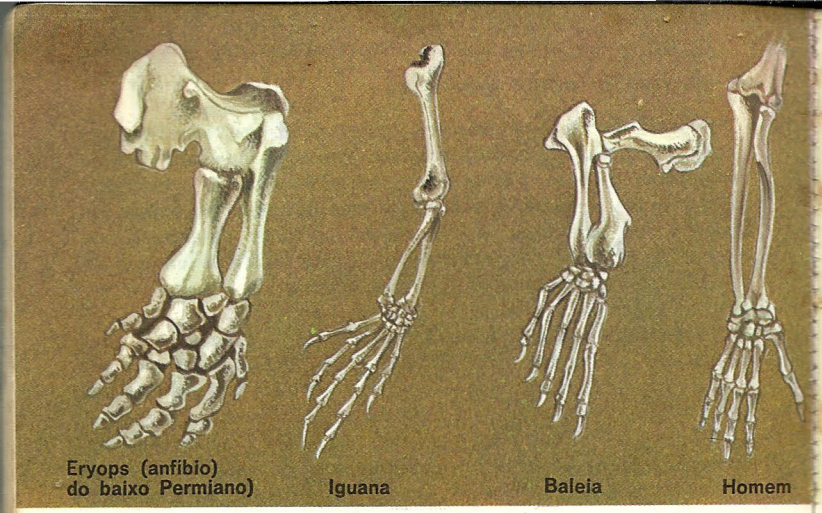
A história geológica é dividida em eras de longa duração, com fundamento no caráter geral da vida que nelas existiu. Assim, temos a Era Criptozóica (vida escondida), a Paleozóica ou Primária (vida antiga), a Mesozóica ou Secundária (vida intermediária), e a Cenozóica ou Terciária (vida moderna). Cada era é subdividida em certo número de períodos, caracterizados pelas seqüências específicas de rochas estratificadas em que se encontram determinados tipos de fósseis. A Era Cenozóica, ou Terciária, é dividida em cinco períodos, de acordo com o número relativo de fósseis representativos das formas de vida mais recentes que foram encontrados nas rochas.

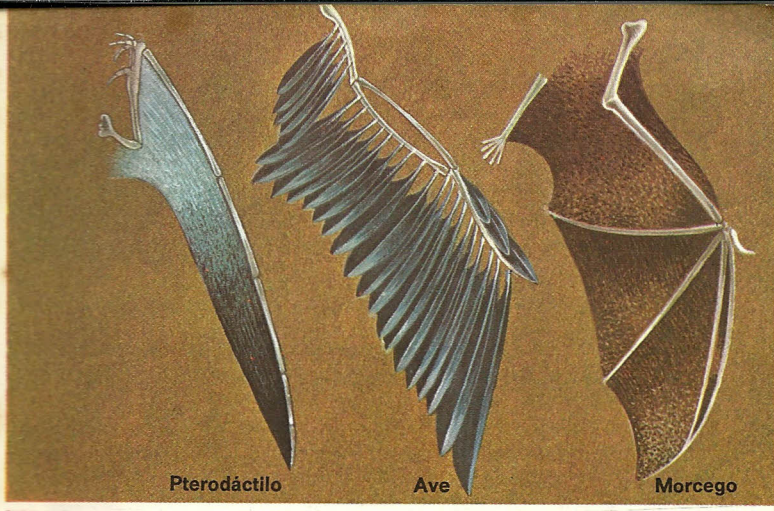
É extremamente importante lembrar que material fóssil abundante não aparece até os tempos iniciais da Era Paleozóica, isto é, no Período Cambriano Inferior. Este é o mais antigo estágio da escala geológica (ver páginas 72 e 73). A época pré-cambriana engloba cerca de três bilhões e quinhentos milhões de anos, o que representa talvez nove décimos da história da Terra.

No relógio geológico, o círculo menor representa a idade da Terra (cerca de 5 bilhões de anos); e o maior, os últimos 600 milhões de anos. Nesse relógio, cada hora representa 50 milhões de anos

a mamíferos
b répteis
c anfíbios
d peixes
e invertebrados







A Anatomia Comparada e os órgãos vestigiais

A Anatomia Comparada revela a existência de planos estruturais em grandes grupos de organismos. No entanto, algumas semelhanças de estrutura não são suficientes para relacionar os organismos; elas apenas significam que as partes semelhantes são análogas, servindo para o mesmo fim. As asas, pernas e olhos do gafanhoto são análogos às mesmas partes de um canário, no sentido que ambos podem voar, andar e ver com cada uma dessas partes, respectivamente. Por outro lado, a correspondência, entre partes, por homologia, implica similitudes na estrutura e no desenvolvimento, embora nem sempre sirvam para o exercício da mesma função. Estas semelhanças são inexplicáveis, a menos que os animais sejam descendentes de um mesmo ancestral.

Hoje em dia, a classificação dos seres vivos baseia-se em planos estruturais caracterizados por correspondências homólogas. Ao estudar a variedade da vida animal e vegetal, observa-se que cada grupo se caracteriza por uma forma comum que constitui a base da estrutura do grupo.

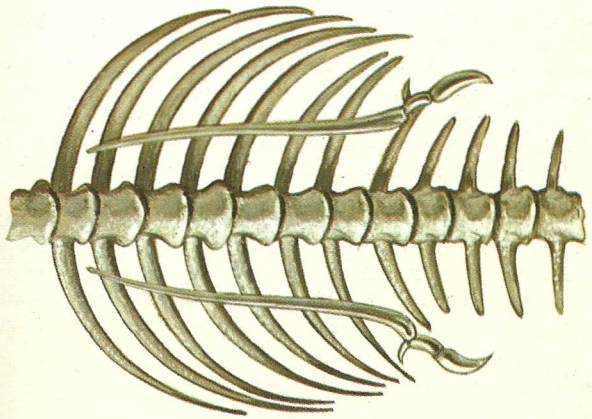
Com freqüência têm sido descobertas estruturas que só podem ser explicadas se se aceitar o fato de que ocorreu evolução. São estruturas rudimentares ou hipotrofiadas, de nenhum valor para o ser e que são vestígios de órgãos plenamente desenvolvidos e funcionais em gerações anteriores, e chamadas por isso estruturas vestigiais. Ao estudar formas relacionadas, observa-se que tais órgãos são homólogos, com estruturas que, na maioria das vezes, desempenham importante função na vida de outros organismos. Assim, nas cobras, evidentemente não aparece nenhum sinal externo

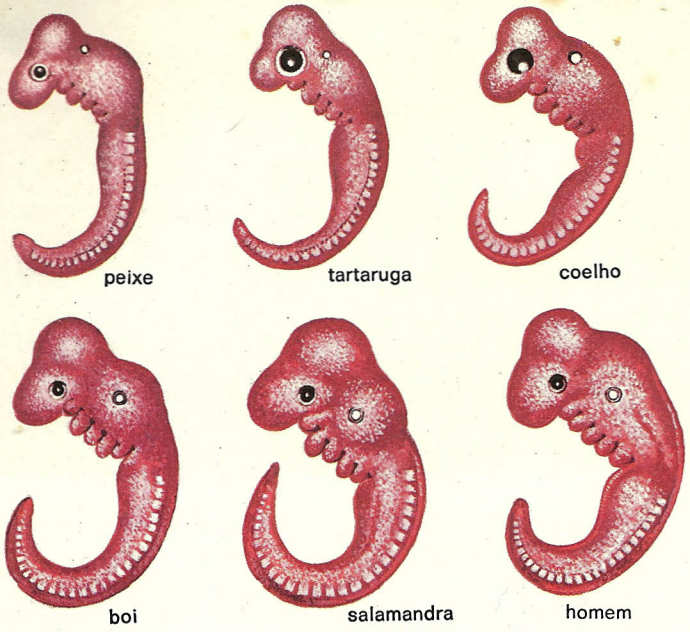
Variação homóloga de membros pentadáctilos (pág. 24) e similaridades análogas da forma da asa (acima)

visível de patas, porém nelas se encontram vestígios internos de cintura pélvica e membros posteriores que seguramente indicam semelhanças com os répteis de quatro patas.

Do mesmo modo, as baleias possuem membros anteriores bem desenvolvidos, sob a forma de nadadeiras, que podem ser relacionados aos membros pentadáctilos anteriores dos mamíferos terrestres.

Membros vestigiais numa píton (serpente do gênero *Python*, família dos Boídeos)





Embriões notavelmente semelhantes entre si, correspondentes a espécies totalmente diferentes de animais

A Embriologia

A Embriologia revela uma semelhança notável de estrutura inicial entre animais que apresentam formas adultas tão diferentes entre si quanto o podem ser, por exemplo, o peixe, a tartaruga, a galinha, o coelho e o homem. Ninguém confunde essas formas, quando adultas. No entanto, é extremamente difícil identificar seus embriões caso não se saiba previamente quem são os genitores. Von Baer foi o primeiro a registrar observações sobre esse tipo de semelhanças, porém foi Darwin o primeiro a apontar-lhes as razões. Se os embriões se assemelham, devem ser provenientes de um ancestral comum, do qual herdaram as fases embrionárias, repetidas no seu próprio desenvolvimento. Sugeriu-se que durante o desenvolvimento embrionário cada indivíduo vai reproduzindo os estágios ao longo dos quais evoluiu a forma primitiva da qual provém. Isto é considerado, hoje em dia, um tanto ou quanto exagerado. Entretanto, os embriões da maioria dos vertebrados, em estágios correspondentes, apresentam todos características semelhantes às dos peixes, com bolsas ou fendas branquiais na cabeça.

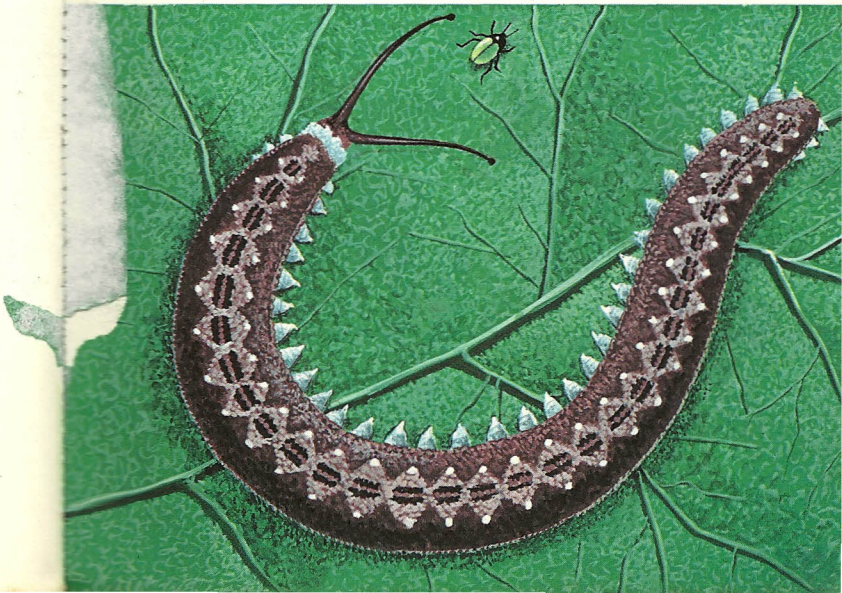
Cada um desenvolve sistema vascular de circulação única, e o coração ainda não é dividido em metade direita e esquerda. As bolsas branquiais são mais adequadamente chamadas de fissuras viscerais pois nunca funcionam verdadeiramente como brânquias mas são irrigadas, nos primeiros estágios, por artérias indubitavelmente homólogas às dos peixes adultos. Ao completar, porém, seu período de desenvolvimento, cada embrião resulta numa forma típica.

Intermediários

Os estudos da anatomia comparada ajudaram a reunir a vida animal e a vegetal em grupos relacionados e em alguns casos foi provada a existência de certas formas que ligam um grupo a outro. Alguns animais não podem ser rigorosamente colocados, sem qualquer restrição, num determinado grupo, porque apresentam características comuns a dois grupos. São os intermediários.

Deste modo, podem-se relacionar os artrópodes aos anelídeos pelos invertebrados do gênero *Peripatus*, semelhantes à lagarta. Pela sua aparência externa, lembram os vermes, mas o corpo apresenta apêndices flexíveis, embora não articulados, como nos artrópodes. Internamente, sua cavidade corporal, contendo sangue, tem o aspecto da dos artrópodes, porém lembra a do verme, pois é dotada de uma série de nefrídios (órgãos excretores); cada segmento apresenta um par de pernas, similarmente aos nefrídios.

Peripatus



Evidências imunológicas

A imunologia estuda a resistência desenvolvida por certos animais a uma determinada infecção, pelo mecanismo da imunização. Certos testes imunológicos fornecem evidências da ocorrência da evolução e permitem que se relacionem certas espécies animais.

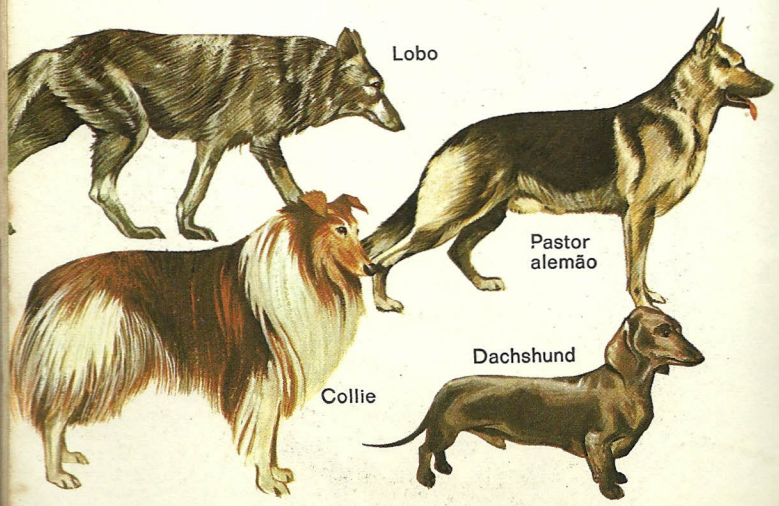
Se o sangue de uma espécie A for injetado numa espécie B, o sangue de B adquire a capacidade de precipitar as proteínas do sangue de A. Mostra-se também capaz de precipitar o sangue de outras espécies relacionadas a A, porém num grau que depende da proximidade de seu relacionamento. O grau de precipitação coincide com o grau de relacionamento sugerido por estudos anatômicos. Isto não constitui prova concludente da evolução, porém contribui para favorecer a aceitação da teoria.

Animais domésticos e plantas

Cães, gatos, cavalos, gado, aves e outros animais domésticos ilustram claramente o fato de que os seres vivos podem modificar sua forma e estrutura. O *collie*, o galgo, o bulldogue, o *dachshund* e o *poodle* seriam certamente classificados como espécies diferentes se fossem encontrados em estado selvagem. Uma vez que podem cruzar-se, e como a prole mestiçada apresenta todas as características intermediárias entre os dois diferentes genitores, todos eles constituem na realidade uma só espécie.

Plantas cultivadas têm sido cruzadas, similarmente, com vistas às suas características particulares, obtendo-se, por exemplo, numerosas variedades de rosas. O mesmo ocorreu com linhagens de trigo, visando a variedades ricas na produção de grãos e com grande resistência à ferrugem.

Variedades domésticas de cães, criadas artificialmente pelo homem, pertencem todas à mesma espécie

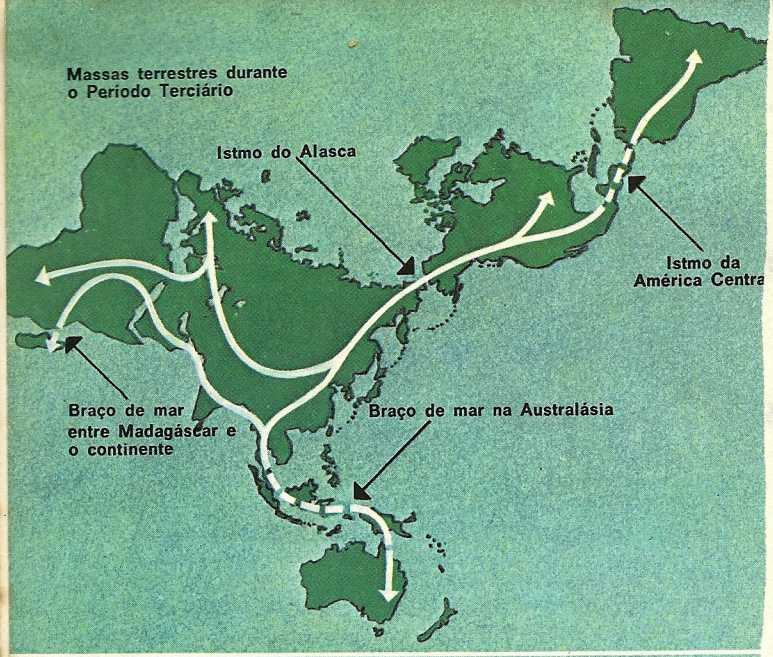


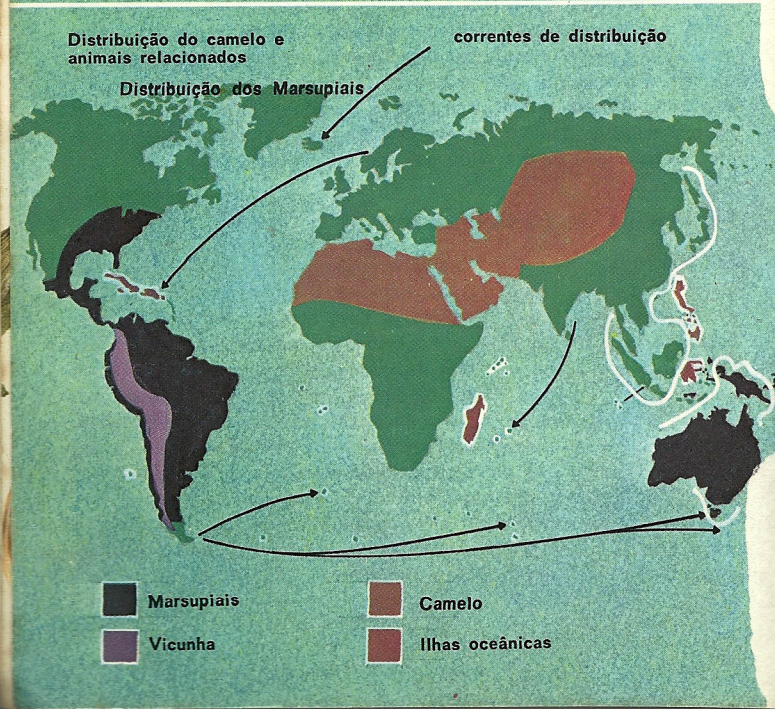
Variação normal na família Felidae

Evidentemente, o homem selecionou características que lhe são úteis, ou que têm finalidade decorativa. A natureza, de seu lado, veio selecionando caracteres que fossem úteis aos próprios organismos. Portanto, os dois processos, apesar de seguirem o mesmo princípio, diferem quanto aos fins. É devido a esta diferença que muitos animais domésticos se extinguiriam imediatamente se fossem transferidos para a vida selvagem.

Evidências de classificação

A Sistemática (ou Taxionomia) é o estudo da classificação dos animais e plantas. Se todas as espécies tivessem sido criadas simultaneamente desde o princípio, e com uma só forma distinta e definitiva, não teria surgido dificuldade alguma em ordená-las. Não obstante, a realidade é outra. As espécies apresentam variedades dentro de seu próprio grupo e, quando em novos ambientes, podem-se adaptar a eles e, eventualmente, originar espécies-filhas. Logo, deve haver exemplos de evolução em marcha, na atualidade, especialmente no que diz respeito àquelas espécies de ampla distribuição geográfica. Entretanto, é difícil distinguir entre variedade e espécie. A família *Felidae*, por exemplo, antigamente compreendia vinte e cinco gêneros, enquanto hoje apresenta apenas um ou dois, conforme o critério do especialista.





A distribuição geográfica

As evidências de maior importância são fornecidas pelos fatos que surgem do estudo da distribuição geográfica das plantas e animais. As regiões diferem, às vezes de maneira muito acentuada, quanto a sua fauna e flora, apesar de seu clima e vegetação serem comparativamente semelhantes. Darwin reuniu informações relativas à distribuição geográfica de vários fósseis e animais vivos. Observou de que modo alguns animais relacionados se encontravam afastados por milhares de milhas de distância, ou por cadeias de montanhas, ou ainda por qualquer outro tipo de acidente físico. A distribuição descontínua de formas relacionadas deve ter ocorrido quando os animais emigraram para um novo habitat, extinguindo-se, com o tempo, nas regiões intermediárias. A evidência fornecida pelos fósseis de certos grupos serviu de apoio a este ponto de vista, pois muitos deles foram descobertos em regiões distintas do mundo, que eles relacionaram com sua presença.

Os grupos cosmopolitas (ou seja, aqueles que se encontram espalhados no mundo inteiro e cuja movimentação não foi impedida por nenhum tipo de barreira) são pouco numerosos. Por exemplo, certos insetos, morcegos e aves, por poderem voar, têm ampla distribuição. Não obstante, hoje em dia, a maioria das espécies têm uma distribuição limitada a áreas bem definidas, devido à formação de barreiras levantadas a partir de modificações ocorridas na superfície da Terra e no clima.

Apesar de as principais massas terrestres terem variado pouco durante o Período Terciário, ocorreram mudanças consideráveis na comunicação entre elas quer pela formação ou ruptura de estreitas pontes de terra (istmos), quer pelo aparecimento de largas faixas de terreno submetidas a temperaturas extremas, ou o surgimento de vastos desertos. O mapa mostra as diferentes regiões e as pontes de terra que permitiram as migrações animais.

A região da Etiópia foi separada da Paleártica pela brusca mudança de temperatura e implantação de condições desérticas na África do Norte. O istmo existente entre a parte setentrional e a meridional da América foi rompido no período Eoceno, e assim permaneceu até o Pleistoceno. Assim, a fauna sul-americana apresenta certas diferenças em relação a outras regiões. A Austrália, ao leste da linha de Wallace, ficou isolada no final do Cretáceo.

Existem evidências de que muitas formas de vida animal evoluíram no centro das zonas setentrionais do hemisfério boreal e migraram em direção às suas extremidades. Vários tipos que evoluíram muito cedo, como os marsupiais, os monotremados e os peixes pulmonados, ainda permanecem como vestígios nas áreas meridionais extremas das massas terrestres. O mapa mostra a distribuição geográfica do camelo, da vicunha e dos marsupiais.

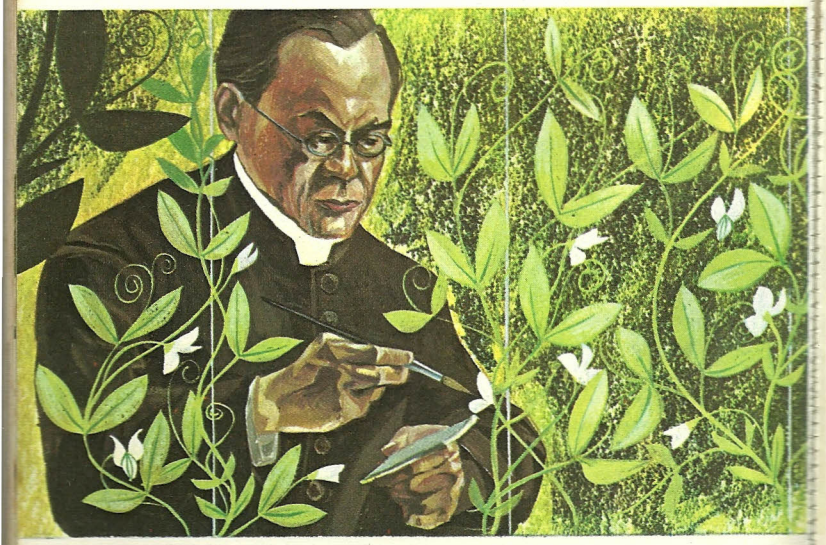
O MECANISMO DA EVOLUÇÃO

Mendel

O nome «Mendel» é normalmente associado à «genética». Quem foi Mendel e como é que entrou na problemática da evolução? Mendel realizou suas descobertas por volta de 1860 e, não obstante, seu trabalho permaneceu desconhecido até o início do século seguinte, aproximadamente vinte anos após sua morte.

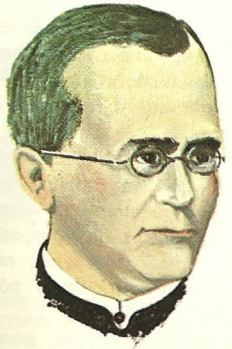
Johann Mendel, natural da Silésia, nasceu em 1822, no vilarejo de Heizendorf, onde seus pais eram modestos granjeiros. Foi brilhante na sua vida escolar, e se dedicou aos estudos filosóficos na Universidade de Olmütz. Entretanto, o excesso de trabalho acompanhado de uma alimentação deficiente devido à falta de recursos, afetou-lhe a saúde em duas ocasiões. Assim, em 1843, sua família, seu professor de Física, Friedrich Franz, e ele próprio, chegaram à conclusão de que o melhor seria entrar no noviciado do Convento de Olmütz. Foi admitido em outubro de 1843, sob o nome de «Gregor».

A vida continuou sendo-lhe difícil e Gregor Mendel sofreu várias perturbações físicas e mentais durante sua estada no mosteiro. Tornou-se irmão leigo e, a seguir, qualificado clérigo na cidade de Brno. Destacou-se igualmente como professor da escola local.



De Vries e outros pesquisadores proclamaram anos mais tarde a importância do trabalho de Mendel

Mendel (ao lado e abaixo). A partir dos resultados que obteve nos seus experimentos sobre cruzamento de plantas, Mendel enunciou as leis da Genética



De outubro de 1851 a agosto de 1853, voltou à condição de estudante, desta vez na Universidade de Viena, a fim de aperfeiçoar seu conhecimento de ciências naturais.

A seguir, voltou a ensinar, porém começou também a realizar experiências sobre cruzamento entre plantas. De trinta e quatro variedades de ervilhas comestíveis, selecionou vinte e duas para suas experiências, a fim de determinar as relações estatísticas entre os diferentes descendentes híbridos. A teoria de Mendel permitia predizer o número de formas diferentes que poderiam resultar da fertilização ao acaso de dois tipos de células-ovo por dois tipos de grãos de pólen.

Tendo satisfatoriamente concluído as suas experiências, Mendel expôs seus resultados em dois artigos intitulados »Experiências sobre a Hibridização de Plantas». A leitura dessas comunicações em 1856, na Sociedade de Ciências Naturais de Brno não causou a menor impressão. Ao ser nomeado Abade do Mosteiro, em 1868, restou-lhe pouco tempo para continuar suas pesquisas. Morreu em janeiro de 1884.

Seu trabalho ficou relegado ao esquecimento até 1900, quando três pesquisadores, independentemente, De Vries, na Holanda, Correns na Alemanha, e Tschermak, na Áustria, encontraram os artigos esquecidos de Mendel e proclamaram sua importância.

A PRIMEIRA LEI DE MENDEL

Mendel começou pesquisando a maneira como variações livremente produzidas dentro das espécies se relacionavam entre si. Reparou que, num certo número de plantas de jardim, podia observar certas variações dentro de cada espécie. Estudou várias características da ervilha das hortas *(Pisum sativum)*. Notou, por exemplo, que havia variedades altas (de 1,80 m a 2,10 m) e outras anãs (de 23 cm a 46 cm); que suas sementes podiam ser de aspecto liso e redondo, ou rugoso; que as vagens ainda não maduras podiam ser verdes ou amarelas. O uso que fazia da estatística biométrica básica se combinava com sua anterior experiência em assuntos de física. Por isso, decidiu analisar e interpretar seus dados com auxílio da Matemática. Por outro lado, Mendel conhecia a história da vida das plantas com que lidava e assim, numa das suas experiências, cruzou uma variedade de planta anã, de cerca de 30 cm de altura, com uma variedade de planta alta, que atingia cerca de 1,80 m. Obteve híbridos que eram todos altos. Polinizou os híbridos com o próprio pólen de cada um e obteve entre os descendentes 75% de plantas altas e 25% de anãs, isto é, numa proporção de 3 para 1. Quando autopolinizou esta segunda geração, verificou que todas as variedades anãs produziam variedades anãs nas gerações subseqüentes. Entretanto, só um terço das variedades altas se reproduzia sob a forma pura; os dois terços restantes produziam 75% de variedades altas e 25% de anãs; e o processo continuou a se repetir dessa mesma forma, daí em diante.

Mendel percebeu, a partir de muitas experiências, utilizando caracteres diferentes, que alguns destes (como o caráter semente rugosa e a baixa altura) podiam, no cruzamento, permanecer «mascarados» ou dominados por outros caracteres (como o caráter semente lisa e estatura elevada). Apesar de "mascarados" em uma geração, estes caracteres conservavam o poder de reaparecer numa geração posterior. Chamou estes caracteres de «recessivos». Os que podiam mascarar os caracteres recessivos foram chamados de «dominantes». Se se juntassem, num cruzamento, somente o dominante aparecia, e tinha o poder de impedir que o recessivo manifestasse o seu efeito.

Assim, a partir das experiências com a terceira geração, Mendel concluiu que um terço das plantas altas obtidas não continham fatores de nanismo mascarados e que, conseqüentemente, sempre produziam espécimes de elevada altura. Os outros dois terços de plantas altas haviam mantido mascarado o fator recessivo, nelas existente, e por isso, quando fertilizadas por seu próprio pólen originavam plantas baixas, na proporção de 1 para 3.

A contagem das sementes e a interpretação dos fatos permitiram a Mendel propor o que é conhecido hoje como a Primeira Lei de Mendel. Esta afirma que *os caracteres são controlados por pares de fatores que não se misturam durante a vida, e que cada fator de um par passa para uma célula durante os processos reprodutivos anteriores à fertilização.*

Neste cruzamento, uma característica relacionada com a forma da semente é suprimida na geração F_2.
Entretanto, quando plantas desta geração se autopolinizam, aquela característica reaparece na quarta parte da geração seguinte

A SEGUNDA LEI DE MENDEL

Mendel não limitou suas experiências a um par de caracteres contrastantes apenas, porém foi mais longe, e observou os resultados obtidos quando plantas com dois pares de fatores eram autopolinizadas.

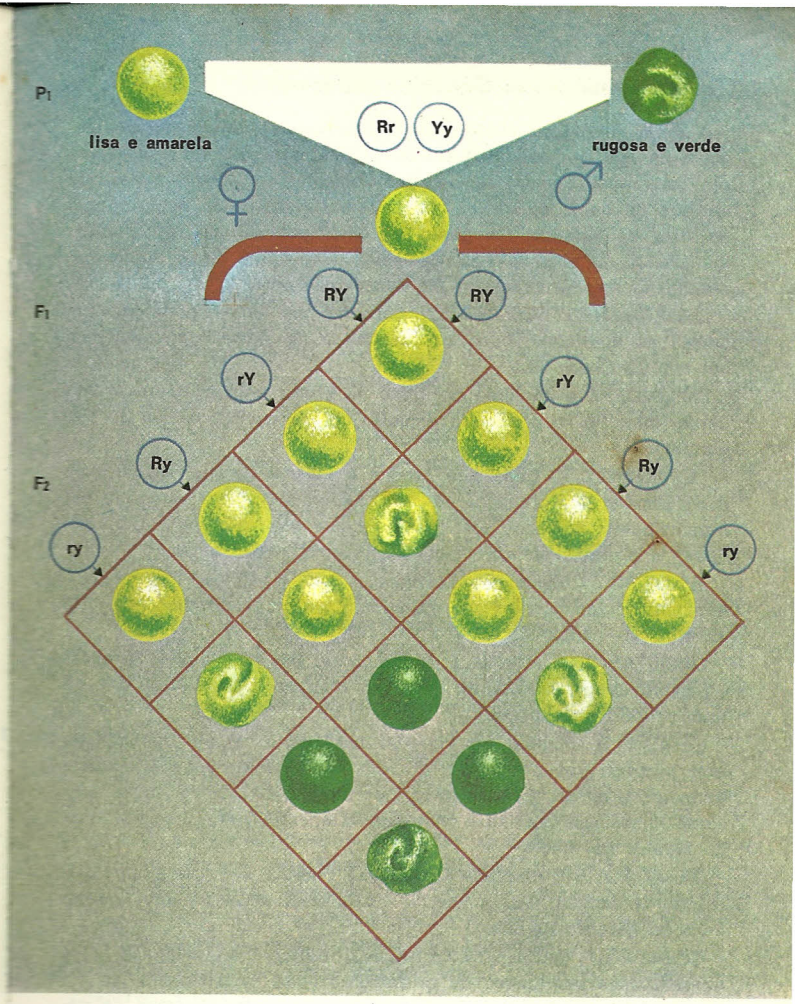
Deve-se ter em mente que, apesar de Mendel não possuir noção alguma a respeito de cromossomos, sentiu a necessidade de descobrir como se comportavam os caracteres um em relação ao outro, na sua passagem de geração para geração.

Para uma das suas experiências, escolheu como tópicos a observar, a forma e a cor da semente. Utilizou plantas puras, uma com sementes redondas e amarelas, e, outra, com sementes rugosas e verdes. Aplicou o método previamente descrito, só que desta vez registrou a freqüência com que cada caráter aparecia juntamente com o outro, em vez de anotar apenas as freqüências dos caracteres isolados. Os resultados mostraram que, na primeira geração filial, todas as plantas apresentavam sementes redondas e amarelas, indicando a dominância do caráter redondo sobre o rugoso, e do amarelo sobre o verde, respectivamente. Após a autopolinização destas novas plantas, Mendel encontrou, na segunda geração, quatro grupos de caracteres diferentemente combinados.

Feita a contagem, encontrou aproximadamente a proporção de nove plantas com sementes redondas e amarelas, para três com sementes redondas e verdes, três com sementes rugosas e amarelas e uma com sementes rugosas e verdes.

A partir destes resultados, Mendel deduziu a segunda lei da hereditariedade. Postulou *que durante o processo reprodutivo, cada elemento de um par de caracteres contrastantes pode se combinar com um ou outro elemento do outro par, de modo que há uma independência completa de combinação entre os fatores presentes.*

Ao todo, Mendel estudou sete pares de caracteres em ervilhas, envolvendo cor e tipo de superfície da semente; coloração da flor; altura da planta; cor da vagem antes do amadurecimento; forma da vagem, e disposição das flores. Os cruzamentos que envolvem dois caracteres diferentes, separáveis na herança, são chamados de cruzamentos diíbridos (o cruzamento referente a um único par de alelos é chamado de monoíbrido). Experiências semelhantes de herança diíbrida foram realizadas com a drosófila *(Drosophila melanogaster),* a mosca-das-frutas, obtendo-se as mesmas proporções nos resultados. A combinação dos caracteres na geração parental não exerce influência alguma na maneira em que os caracteres se agrupam e se recombinam na geração F_2. Se ambos os caracteres dominantes participam pelo lado de um dos genitores, e ambos os recessivos por parte do outro, a proporção resultante é a mesma



Resultados de um cruzamento diíbrido quanto à forma e à cor da semente

que se verificaria na hipótese de ambos os genitores terem um dominante e um recessivo. Os resultados se apresentam sempre segundo estas proporções: 9/16 com ambos os caracteres dominantes; 3/16 com um dos dominantes e um dos recessivos; 3/16 com o outro dominantes e o outro recessivo; e 1/16 com recessivos apenas.

Termos usados em Genética moderna

ALELOS (ou ALELOMORFOS). São caracteres ou genes que seguem as leis de Mendel. Caracteres alelomórficos são, por exemplo, as formas lisa ou rugosa das sementes, ou então a estatura elevada ou baixa do caule, que podem formar pares sob o ponto de vista da herança. Os genes alelomórficos são os representantes destes caracteres nos gametas, produzindo seus diferentes efeitos no mesmo processo de desenvolvimento.

CRUZAMENTO RECÍPROCO. Cruzamentos entre genitores em ambas as direções. Todos os resultados de Mendel se basearam em tais cruzamentos.

DIPLÓIDE. É o conjunto completo de cromossomos dispostos em pares (duas vezes o número haplóide); é característico das células normais.

DOMINANTE. O gene que produz o mesmo caráter, quando em dose simples, em presença de certo alelomorfo (gene recessivo em heterozigose), como se estivesse presente em dose dupla (homozigose), é chamado de dominante sobre aquele alelomorfo.

FENÓTIPO. Caracteres observáveis num organismo independentemente da sua constituição genética, como, por exemplo, elevada estatura ou nanismo.

GAMETAS. São as células reprodutoras. Possuem um número haplóide de cromossomos, ou seja, um cromossomo de cada par do total próprio da espécie.

GENE. É a unidade do material hereditário, assim denominada pela primeira vez por Johannsen, em 1909. Corresponde à unidade germinativa de Mendel, ou fator, que ele supunha ser a causa presente no gameta para que ocorresse o aparecimento de determinado caráter no adulto.

GERAÇÃO F_1 (PRIMEIRA GERAÇÃO FILIAL). É a constituída pelos descendentes resultantes do cruzamento entre plantas ou animais da geração parental.

GERAÇÃO F_2 (SEGUNDA GERAÇÃO FILIAL). É a constituída pelos descendentes resultantes do cruzamento entre os elementos da F_1.

HAPLÓIDE. É o conjunto constituído por um cromossomo de cada par do total de pares próprio da espécie. É característico dos gametas.

HETEROZIGOTO, HOMOZIGOTO. Termos usados para designar a constituição genética de um indivíduo com relação à posse de um determinado par de alelomorfos. Por exemplo, as plantas da geração parental de Mendel são chamadas de homozigotas; têm igual denominação as da geração F_2 portadoras de dois fatores para estatura elevada, ou de dois fatores para estatura baixa. Por outro lado, as plantas da geração F_1, portadoras de um fator para estatura elevada e de outro para estatura baixa, são denominadas heterozigotas.

HÍBRIDO. Resultado de um cruzamento de genitores com caracteres diversos. As gerações F_1 de Mendel eram híbridas.

LIGAÇÃO. A associação de dois ou mais genes não alelomorfos que tendem a passar de geração para geração como uma unidade inseparável, sem mostrar segregação independente. Isto é devido ao fato de se encontrarem localizados no mesmo cromossomo.

LINHAGEM PURA. Sucessão de gerações de organismos homozigotos para todos os genes. A autopolinização contínua leva rapidamente à condição de homozigose em todas as espécies, desde que todos os fatores já homozigotos não podem mudar. Dentre os heterozigotos, metade se torna homozigota em cada geração. Conseqüentemente, seu número se reduz constantemente.

MEIOSE. Divisão das células germinativas para formação dos gametas, de sorte que estes contenham a metade do número de cromossomos da célula de que se originaram.

MITOSE. Divisão das células de sorte a se manter o mesmo número de cromossomos nas células filhas resultantes.

PERMUTAÇÃO. É o intercâmbio de segmentos correspondentes entre pares de cromossomos homólogos, produzindo recombinação de genes ligados.

PROPORÇÕES NO DIIBRIDISMO. Cruzam-se dois pares de caracteres contrastantes. As proporções mendelianas em F_2, ou seja 9:3:3:1, expressam a distribuição matemática de diibridismo, que se desdobra em dezesseis possibilidades.

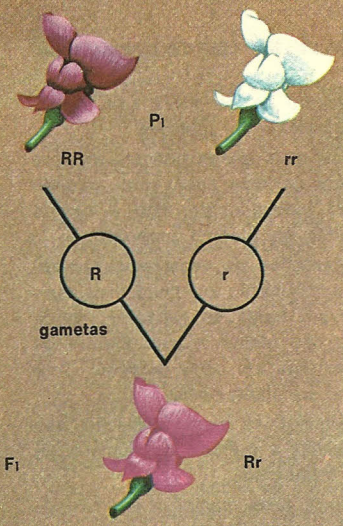
PROPORÇÕES NO MONOIBRIDISMO. Proporções entre os números de indivíduos portadores de constituições genéticas diferentes na geração F_2, como resultado do cruzamento de um único par de caracteres contrastantes. As proporções mendelianas em F_2, de um homozigoto alto, dois heterozigotos altos e um homozigoto anão, correspondem à distribuição de resultados de monoibridismo, em que existem sempre quatro possibilidades.

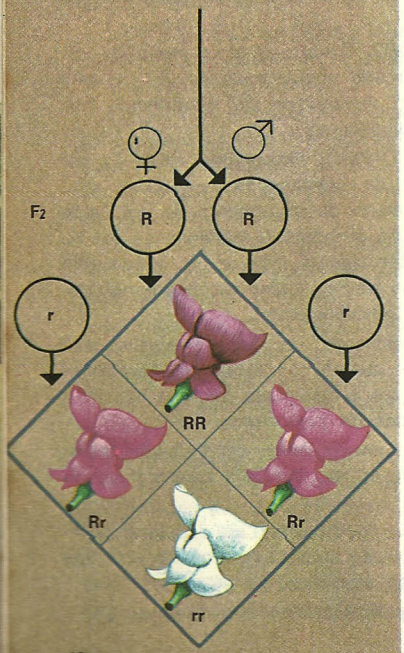
RECESSIVO. O oposto do dominante. Um gene recessivo não exerce efeito sobre o fenótipo, a menos que esteja em homozigose. Por exemplo, a elevada estatura é dominante sobre o nanismo; este só se manifesta em condições de homozigose.

RETROCRUZAMENTO. É o cruzamento entre um indivíduo heterozigoto da geração F_1 com qualquer um dos dois homozigotos da geração parental.

SEGREGAÇÃO INDEPENDENTE. Distribuição, ao acaso, de alelomorfos nos gametas. A distribuição dos elementos de um dos pares não afeta a distribuição dos elementos de outro par.

ZIGOTO. Célula-ovo, formada pela união de dois gametas.



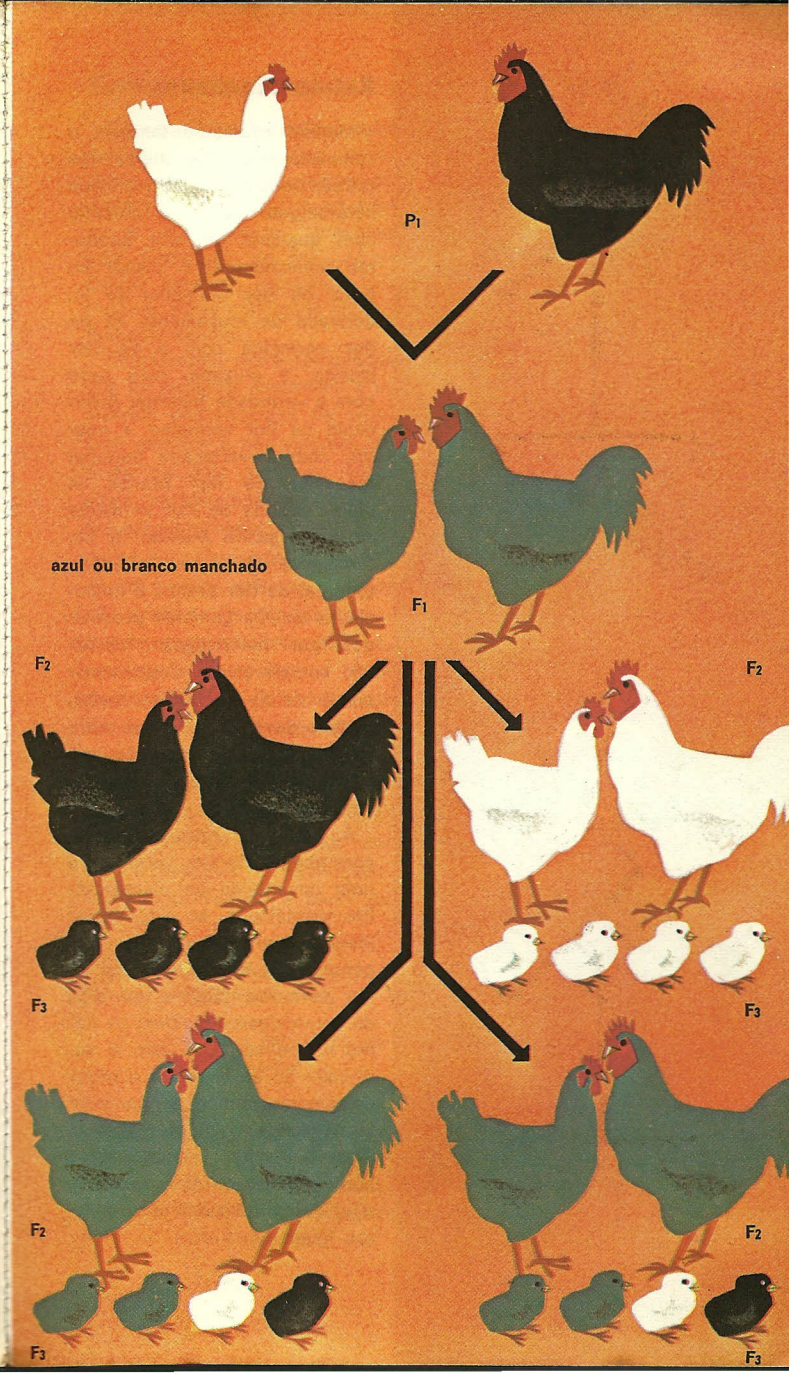


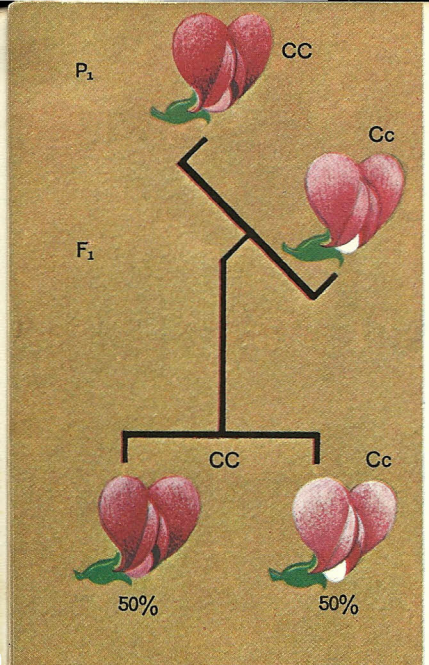
Dominância incompleta

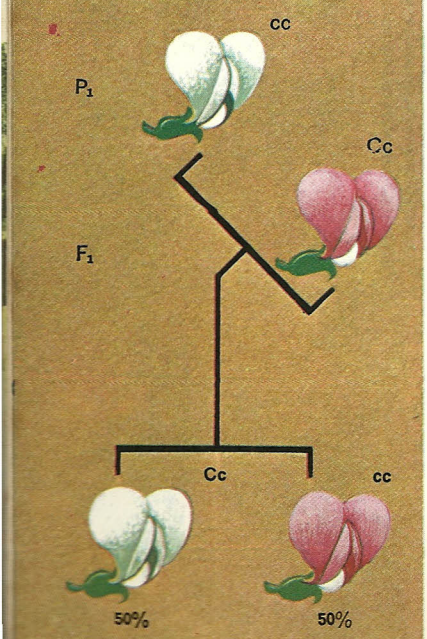
Nem todos os caracteres se comportam de maneira tão perfeita como o supõem as leis de Mendel.

A dominância incompleta indica aparente insucesso de um carácter alelomórfico em dominar o outro, na geração F_1. Nos galináceos domésticos da raça andalusa, é possível obter linhagens puras das formas branca e preta. Quando cruzadas, apresentam, na primeira geração, descendentes que não são nem pretos nem brancos, mas de uma cor intermediária chamada «azul» ou «branco manchado». Efetuado o cruzamento entre indivíduos da geração F_1, a geração seguinte F_2 apresenta indivíduos de cor preta, azul ou branca na proporção de 1:2:1. Sabe-se atualmente que se um gene para a cor preta estiver presente com um gene da cor branca, ele não consegue o desenvolvimento total da pigmentação preta. O descendente deve receber genes para a cor preta de ambos os genitores para desenvolver a pigmentação preta total.

Nas plantas, o cruzamento entre bocas-de-leão *(Antirrhinum)* vermelhas e brancas origina híbridos de cor intermediária, ou seja, rósea. Isto demonstra novamente que quando alelos *R* e *r* participam juntos num cruzamento, nenhum dos dois é dominante e o heterozigoto *Rr* origina uma flor rosada.







Retrocruzamentos

Mendel examinou também o comportamento dos alelos nos retrocruzamentos. Um indivíduo heterozigoto de F_1 é cruzado com qualquer um dos genitores homozigotos. A planta híbrida de flor vermelha de F_1, derivada do cruzamento da de flor vermelha com a de flor branca, é cruzada, num caso com a variedade parental dominante de flor vermelha, e noutro, com a variedade parental recessiva de flor branca. A planta híbrida de flor vermelha de F_1, segundo Mendel, é heterozigota *Cc*, e a variedade parental de flor branca é homozigota *cc*. Os gametas produzidos por heterozigoto híbrido são sempre puros. Logo, numa planta de F_1 de flor vermelha, metade deve levar *C*, e a outra metade, *c*. Os gametas de uma planta de flor branca recessivos, são todos *c*.

A prole no retrocruzamento com genitor de flor vermelha é toda constituída de plantas de flor vermelha e, se a teoria de Mendel é correta, deve se compor de 50% de homozigotos de flor vermelha *(CC)* e de 50% de heterozigotos também de flores vermelhas *(Cc)*. Isto é verificado ao se observar o retrocruzamento com o genitor com fator recessivo de flor branca. Plantas de flor branca *(cc)* e heterozigotos de flor vermelha *(Cc)* são produzidos em números iguais.

Cruzamentos letais

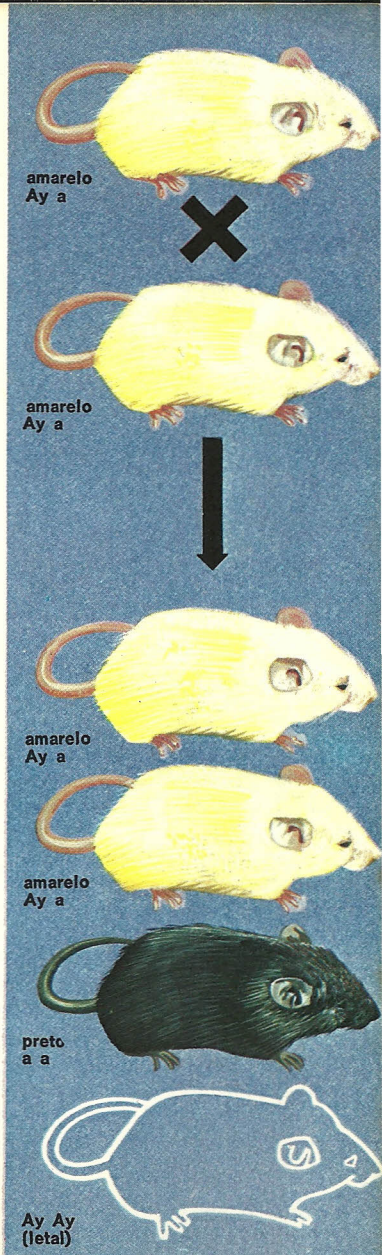
De acordo com a segregação mendeliana, os gametas portadores de alelos diferentes do mesmo gene se juntam ao acaso e o resultado apresenta uma proporção de três dominantes para um recessivo. Entretanto, estas condições não se realizam sempre.

Cruzamentos entre camundongos de pelagem amarelada produziram descendentes de pelagem amarela e não-amarela, na razão de dois para um. Mais ainda, cruzamentos entre amarelos originam ninhadas 25% menores em relação às originadas de um genitor amarelo com um não-amarelo. Os zigotos homozigotos para amarelo são aparentemente inviáveis; e esta hipótese foi comprovada por cientistas que, cruzaram fêmeas amarelas com machos também amarelos. Os pesquisadores descobriram que alguns embriões morrem logo nos primeiros estágios de seu desenvolvimento. Tem-se a partir da ilustração:

Ay = gene dominante para a pelagem amarela.

a = seu alelo recessivo para o não-amarelo.

O alelo *Ay* é letal quando em homozigose, mas quando está presente com o alelo recessivo *a* para o não-amarelo, ele apenas modifica a cor da pelagem para um tom amarelado.



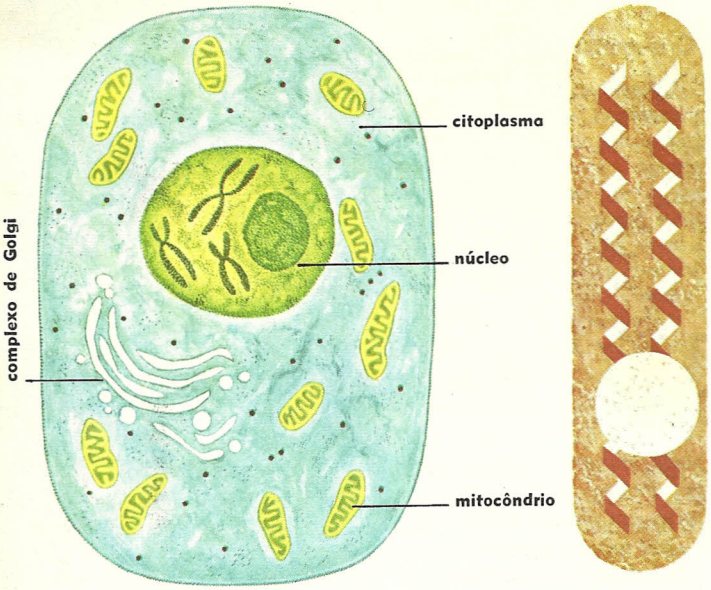


Diagrama da célula e do cromossomo

Células e cromossomos

A substância viva de plantas ou animais é organizada em unidades microscópicas, chamadas células. Estas foram vistas pela primeira vez por Robert Hooke, em 1665, quando examinou e descreveu as células de um pedaço de cortiça.

Usualmente, a célula consiste em um corpo denso, o núcleo, envolvido em sua própria membrana e rodeado por um fluido coloidal menos denso, o *citoplasma.* O *citoplasma* contém uma variedade de estruturas, entre as quais se incluem os mitocôndrios, centros de atividade enzimática do metabolismo oxidativo, visíveis ao microscópio. As células animais contêm elementos que constituem o *complexo de Golgi*, e os *centrossomos*, estes importantes na divisão celular. É no núcleo que se encontram as estruturas de grande importância genética, os *cromossomos*.

Certas células do corpo se dividem quer para crescimento, por meio da mitose, quer para formar os gametas pela *meiose*.

Na mitose a célula se divide em duas, para fins de crescimento. Neste processo, os cromossomos sofrem modificações bem determinadas. Estas são as suas fases:

INTÉRFASE: A célula ainda não se está dividindo, e os cromossomos não são visíveis. Nesta fase os cromossomos se duplicam.

PRÓFASE: A célula está se preparando para a divisão e os cromossomos ficam claramente visíveis como filamentos que gradualmente encurtam e engrossam por enrolamento.

METÁFASE: A membrana nuclear desaparece e surge o fuso. Colocado em volta do plano central da célula, cada cromossomo se parte longitudinalmente. Cada célula tem, com efeito, um grupo de cromossomos «duplos».

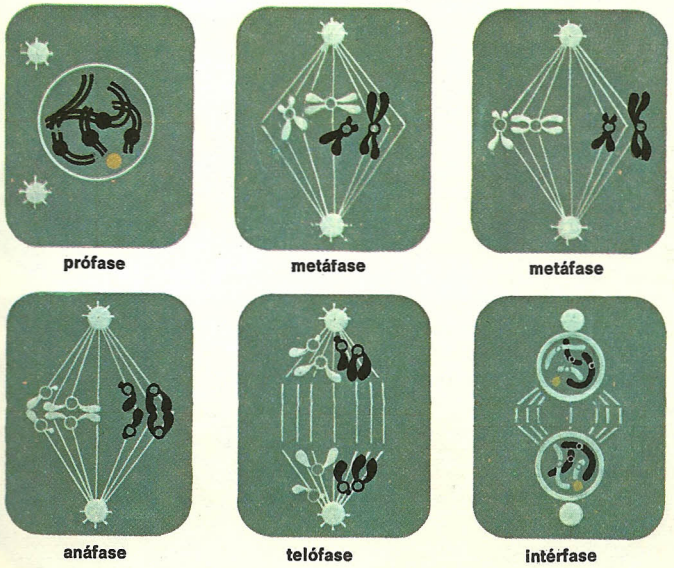
ANÁFASE: Os centrômeros se partem e os cromatídios se movem em direção aos pólos.

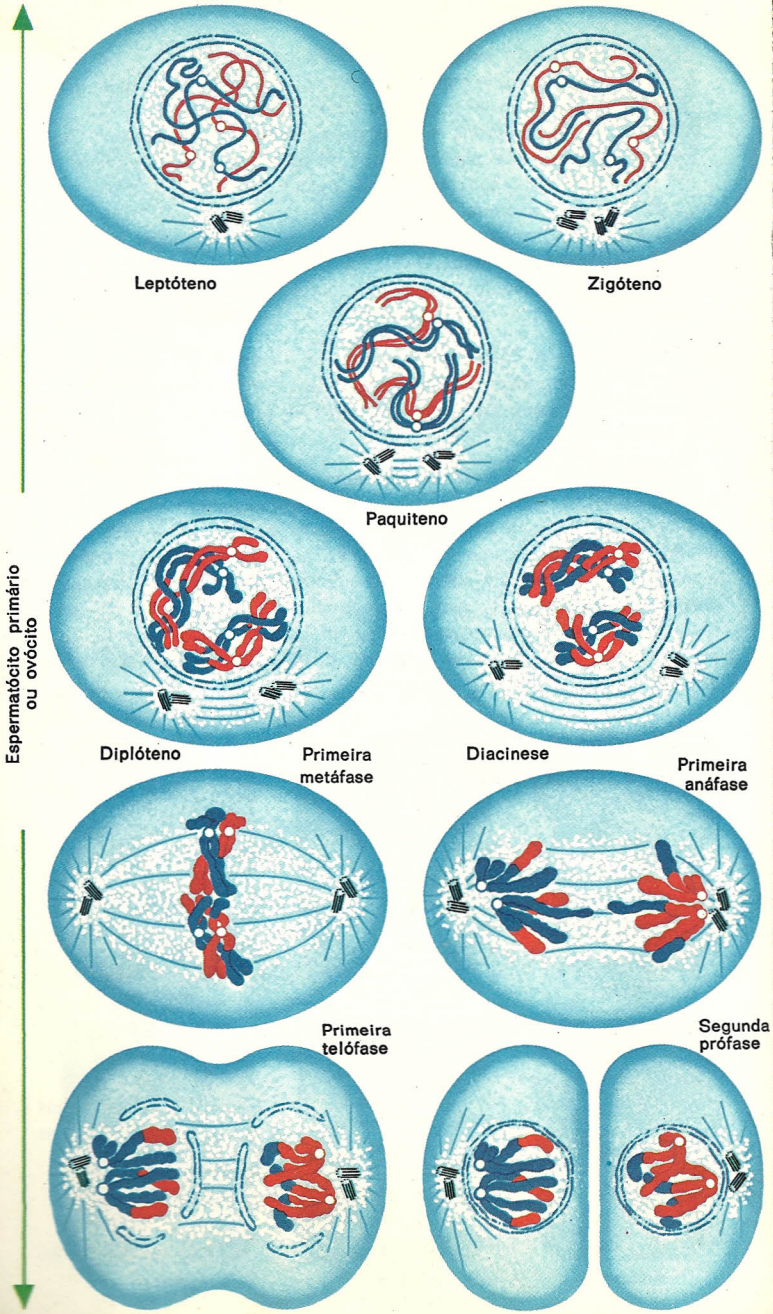
TELÓFASE: As metades de cromossomos se movem para os pólos, formando um grupo completo em cada ponto terminal.

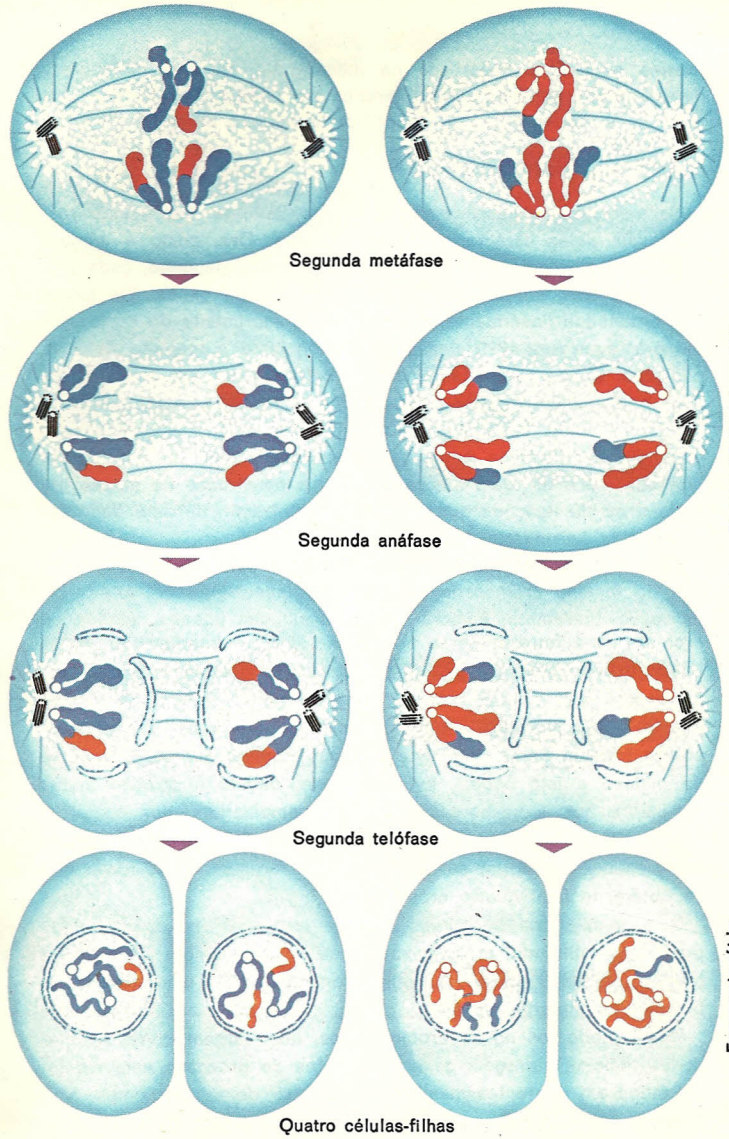
A célula agora por fim se divide, o fuso desaparece e os cromossomos se encompridam. Formam-se núcleos «filiais», cada um contendo um novo grupo de cromossomos e as condições de intérfase são restauradas.

A meiose não está relacionada com o crescimento. É um fato conhecido ser sempre fixo o número de cromossomos de uma espécie. Como é que a união das células parentais não produz uma duplicação do número de cromossomos? Em algum ponto durante a reprodução sexual, o número de cromossomos nas células sexuais tem de ser repartido e isso acontece durante a formação do gameta masculino, o *espermatozóide*, e do gameta feminino, o *óvulo*, por meio de um processo especial de divisão celular chamado *meiose*.

Diagramas das fases da mitose







A meiose difere da mitose no sentido de que produz quatro novas células, em cada uma das quais o número diplóide está reduzido a metade. O processo se realiza mediante duas divisões nucleares e apenas uma duplicação dos cromossomos. Estas duas divisões se denominam, respectivamente, primeira e segunda divisão meiótica. As fases da primeira divisão meiótica ocorrem na

mesma seqüência observada na mitose. No entanto, na prófase da meiose, verifica-se uma diferença no comportamento dos cromossomos, podendo-se reconhecer certo número de fases distintas.

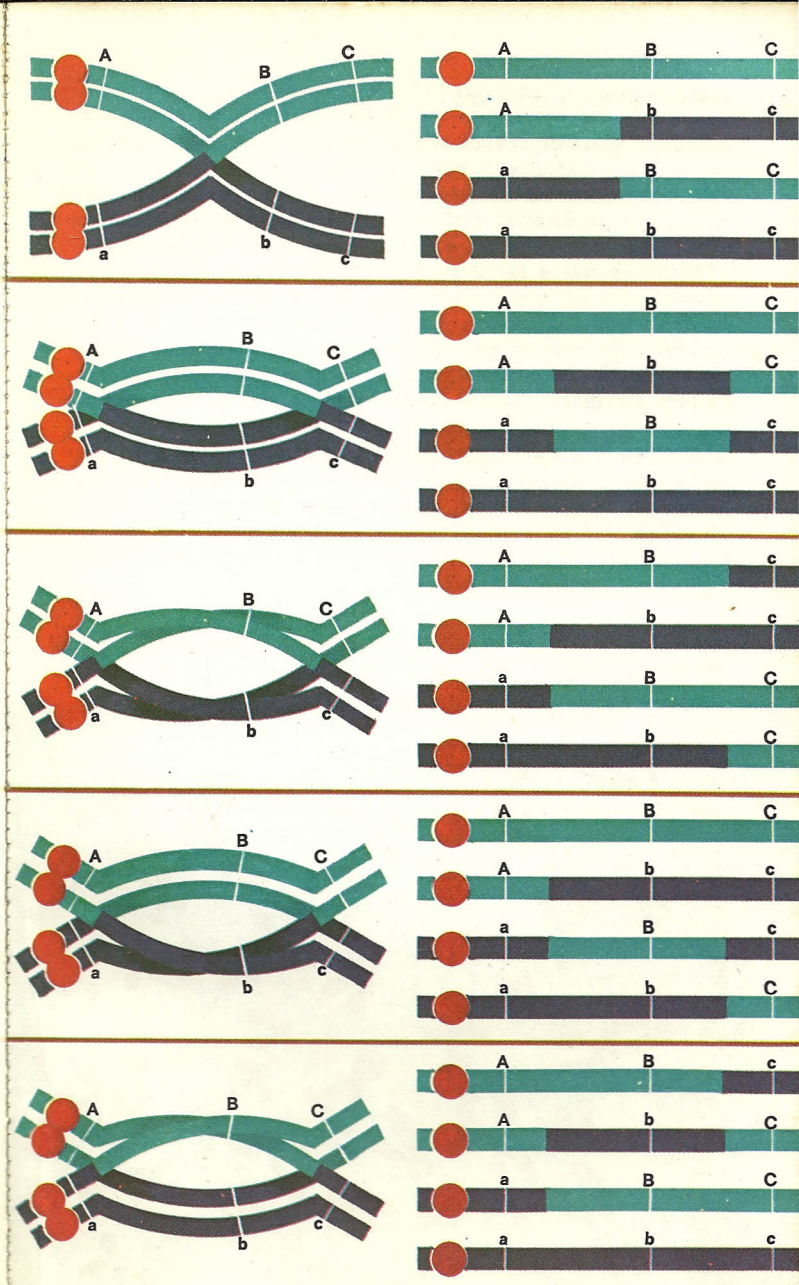
Ligação e permutação

Sabe-se que os cromossomos são portadores dos genes responsáveis pelas características hereditárias. Ora, como o número fixo de cromossomos em cada espécie é muito pequeno, cada cromossomo deve conter um número fantástico de genes. Os genes são ordenados linearmente, ao longo do comprimento do cromossomo e Morgan, em 1910, descobriu muitos fatos a respeito de suas posições. Supôs que a tendência de certos genes em conservarem suas combinações originais era devida à sua localização no mesmo cromossomo. Pensou também que o grau ou a força de ligação dependia da distância entre os genes localizados em um mesmo cromossomo. Esta idéia básica permitiu a construção de mapas genéticos ou de ligações que indicam a localização de uma dada característica hereditária no cromossomo.

Se os genes ocupam sempre o mesmo local, dois genes situados no mesmo cromossomo devem permanecer juntos, em todos os casos. Entretanto, embora os genes estejam ligados, quando os cromossomos formam pares na meiose, podem intercambiar genes mediante «permutação». Este intercâmbio de segmentos de cromossomos leva a uma recombinação de genes ligados, e, assim, alguns alelos passam de um cromossomo para outro. Os cromossomos formam pares com uma precisão notável durante a prófase da meiose e isto ocorre, evidentemente, devido à atração mútua de partes dos cromossomos que são semelhantes, por conterem genes alelos. Entre as fases do *paquíteno* e do *diplóteno,* cada cromossomo de um par se divide em duas cromátides de modo que se obtêm no final quatro cromátides.

Duas cromátides homólogas podem cruzar-se em determinados pontos, constituindo os *quiasmas,* onde há intercâmbio de segmentos homólogos. Formam-se assim cromátides com uma nova combinação do material genético.

Deste modo, os novos cromossomos, que surgem como resultado da meiose, carregam genes que antes do processo estavam localizados em diferentes membros de um par de cromossomos. Não obstante, a permutação não ocorre na maioria dos gametas. Normalmente, cerca de 97% dos gametas contêm combinações parentais, enquanto só 3% comportam recombinações.



Permutações cromossômicas e resultantes recombinações de genes

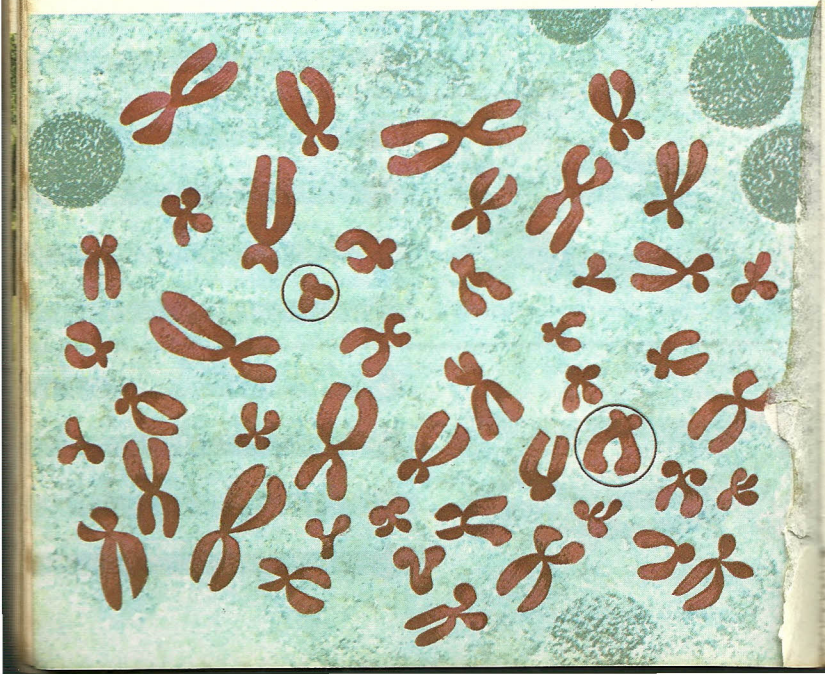
Determinação do sexo

Como é que toda criança tem um pai e uma mãe, mas algumas são do sexo masculino e outras do sexo feminino? O que é que determina se um descendente irá ser macho ou fêmea? Perguntas como estas confundiram biólogos e não-biólogos durante séculos, e até 1900 quase todas as teorias eram meras conjeturas.

Pensava-se que a hereditariedade determinava apenas as semelhanças entre os pais e os filhos e que a herança no filho era um ajuste entre as características de seus genitores. Como é que a questão do sexo se enquadrava na da hereditariedade? Haveria alguma relação ou controle entre as duas? A prova vital necessária para a resposta sobre a determinação do sexo só se desenvolveu a partir de 1900, com as pesquisas dos geneticistas.

Observou-se que em alguns insetos os cromossomos no sexo masculino figuravam em número impar, e no sexo feminino, em número par. Verificou-se também que em alguns machos havia sempre um par de cromossomos em que os elementos eram desiguais, enquanto nas fêmeas, este par era formado de cromossomos iguais.

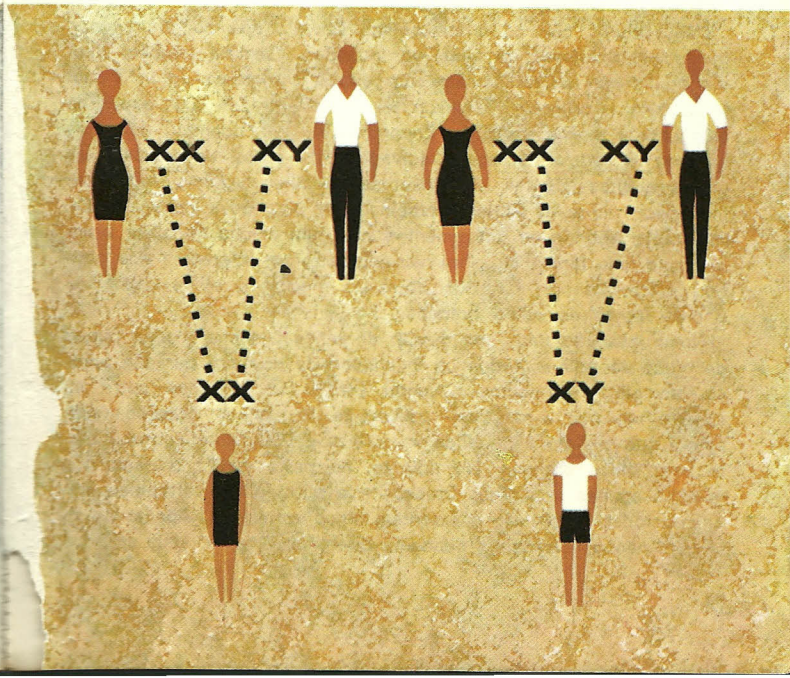
Par de cromossomos desiguais (à esq.) e par normal (à dir.)

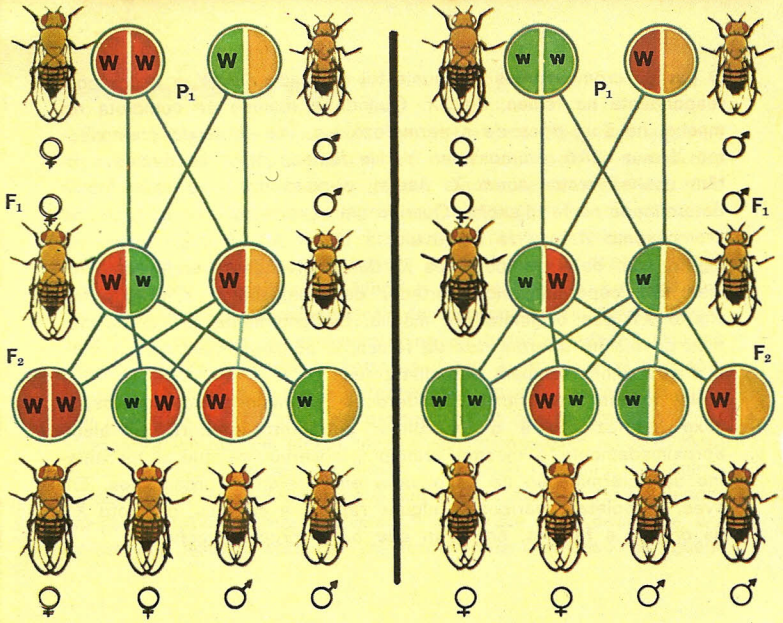


O par de cromossomos desiguais foi chamado de *XY* e o par correspondente na fêmea, de *XX* Quando a meiose se completa no macho, há dois tipos de espermatozóides, um contendo cromossomo *X* e o outro, cromossomo *Y*. Na fêmea, todos os óvulos contêm apenas cromossomo *X*. Assim, o sexo do novo indivíduo é determinado na fertilização. Quando um espermatozóide portador de cromossomo X fertiliza um óvulo, a união dos dois produzirá um zigoto com dois cromossomos *X*, desenvolvendo-se então uma fêmea. Um espermatozóide portador de cromossomo *Y* origina um zigoto *XY* que originará um macho. Evidentemente, os cromossomos do macho diferem dos da fêmea, e conseqüentemente os respectivos genes também são diferentes.

No homem, em outros mamíferos e na maioria dos insetos, o sexo heterozigoto é o masculino. Entretanto, embora prevaleça aproximadamente o mesmo princípio, observou-se que o mecanismo da determinação do sexo varia em diferentes organismos. Em aves, borboletas, mariposas, alguns répteis e anfíbios, o zigoto *XY* dá origem a fêmeas, enquanto que o *XX* produz machos.

Mecanismo da determinação do sexo na progênie humana





Ligação ao sexo

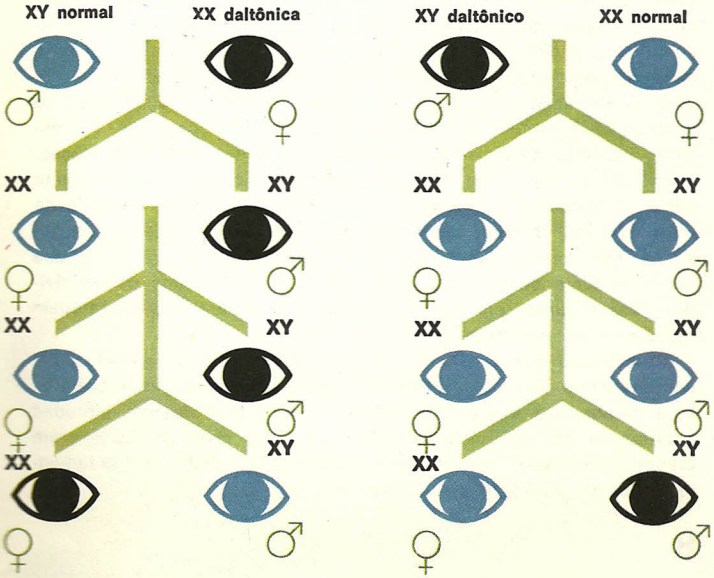
Descobriu-se que os cromossomos sexuais não contêm apenas genes controladores do sexo do indivíduo. Contêm também muitos genes que se relacionam com outros caracteres do indivíduo. Morgan foi o primeiro a realizar tal descoberta, em suas experiências com a mosca drosófila. Encontrou ele um indivíduo de olhos brancos ao cruzar linhagens selvagens de olhos vermelhos. Nas gerações subseqüentes, as drosófilas de olhos brancos originaram indivíduos puros, e assim estabeleceu-se uma nova linhagem. Os resultados obtidos em cruzamentos entre um macho de olhos brancos com uma fêmea de olhos vermelhos foram diferentes dos obtidos no cruzamento recíproco, entre um macho de olhos vermelhos e uma fêmea de olhos brancos.

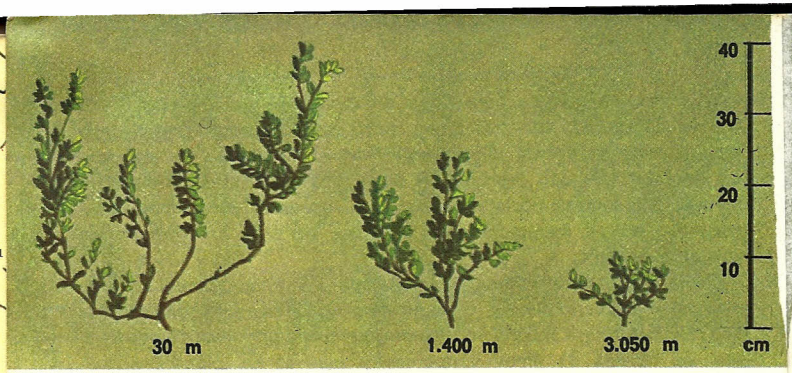
No cruzamento entre um macho de olhos brancos e uma fêmea de olhos vermelhos, todos os indivíduos da primeira geração apresentam olhos vermelhos. Quando estes são cruzados entre si, apenas um quarto da prole resultante tem olhos brancos, indicando que o alelo para olhos vermelhos é dominante sobre o alelo para olhos brancos. No entanto, na prole de F_2, metade dos machos apenas tem olhos brancos e a outra olhos vermelhos, enquanto todas as fêmeas apresentam olhos vermelhos. Apesar de as fêmeas não apresentarem nenhuma diferença externa, seus cromossomos sexuais contêm dois tipos diferentes de genes. Isto é demonstrado quando os dois tipos de fêmeas se reproduzem, pois toda a prole apresenta olhos vermelhos, exceto cerca de um oitavo do total que são machos de olhos brancos. Estes derivam da metade das fêmeas portadoras do gene recessivo para olhos brancos, que só se manifesta quando forma par com o cromossomo sexual masculino.

Obviamente, pode-se esperar resultado diferente quando um macho de olhos vermelhos é cruzado com uma fêmea de olhos brancos. Examinando a ilustração, observa-se que a prole em F_1 se constitui de fêmeas de olhos vermelhos e machos de olhos brancos. Em F_2, estes originam moscas de olhos vermelhos e olhos brancos em igual proporção para ambos os sexos. Todas as moscas de olhos brancos produzem linhagens puras, como acontece com os machos de olhos vermelhos quando cruzados com linhagens puras de fêmeas de olhos vermelhos. No entanto, as fêmeas de F_1 com olhos vermelhos devem ser heterozigotas, pois no seu cruzamento tanto com machos de olhos brancos como com machos de olhos vermelhos metade da prole masculina apresenta olhos brancos.

Assim, os estudos sobre cruzamentos em drosófilas mostram que o caráter cor branca do olho segue um padrão de herança cruzado. O macho transmite seu caráter ligado ao X para metade de suas filhas, nas quais ele é recessivo.

Cruzamentos recíprocos para evidenciar a herança ligada ao sexo, da cor dos olhos na drosófila (à pág. 52) e do daltonismo no homem (embaixo)





Variação produzida pela altitude na *Horkelia californica*

A variação

A permutação pode produzir pequenas variações durante a meiose (ver páginas 48 e 49).

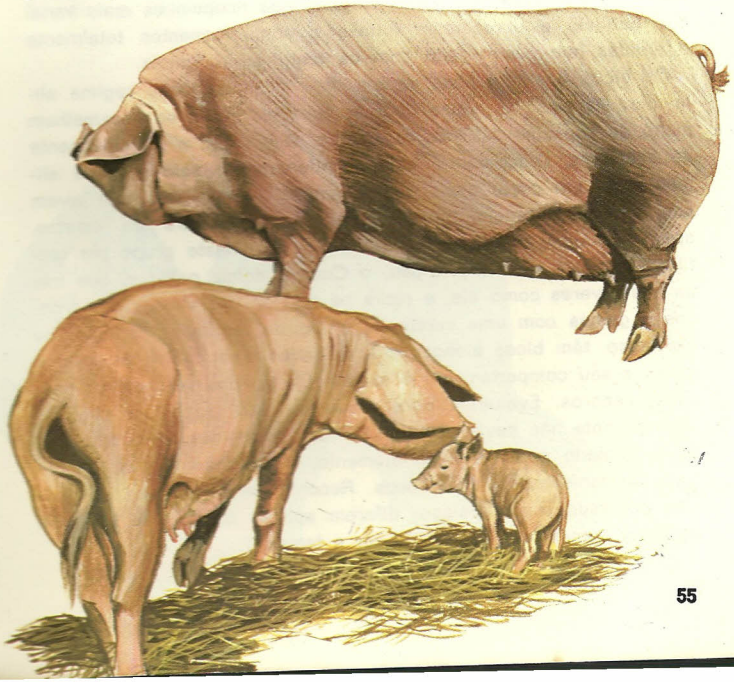
Este fato favoreceu o aparecimento de caracteres diferentes nas espécies no decorrer da evolução. Devido às forças da seleção natural, se determinados grupos de uma população ficam isolados por fatores geográficos, climáticos ou outros, ocorre uma divergência gradual até que as diferenças entre aquelas populações já não permitem que se cruzem entre si. Assim, diferenciam-se a ponto de formar espécies distintas. Pode-se afirmar, portanto, que a evolução é determinada pela seleção natural agindo sobre variações herdadas, ajudada pelo isolamento em ambiente diverso. Até em indivíduos da mesma espécie podem-se notar ligeiras variações. A variação pode ser causada por modificações no próprio material hereditário, mas também por mudanças ambientais. Fatores ambientais, como o solo, o clima, alimentos disponíveis, a umidade e a altitude, podem ocasionar modificações que, no entanto, não são herdadas e não exercem papel algum na evolução.

São comuns as experiências que ilustram o efeito do ambiente sobre o crescimento dos vegetais. Uma única planta é dividida de maneira a se obterem mudas da mesma idade e constituição genética, que formam um conjunto absolutamente homogêneo, a que se dá o nome de linhagem. Cultivam-se os indivíduos desenvolvidos dessas mudas em condições climáticas diversas e se estudam os efeitos do ambiente.

Experiências desse gênero com a *Horkelia californica*, realizadas em diferentes altitudes, produziram resultados muito interessantes. Esta planta vive em estado selvagem na Califórnia, em altitudes próximas a 200 m, atinge apreciável altura ao nível do mar, porém cresce muito pouco em altitudes elevadas, chegando freqüentemente a morrer nos meses de inverno.

Um outro fator extremamente importante para a produção de variação é a quantidade de alimento que um animal ou uma planta consome ou produz. Suínos foram usados como exemplo na ilustração abaixo. Aqueles aos quais se permite comer tanto quanto desejam são corpulentos e gordos, enquanto os submetidos a uma restrição alimentar são alongados e magros. Forneceu-se certo tipo de alimento, mas em quantidade reduzida, a uma parte de um grupo de suínos de raça pura, em que a variação hereditária é negligível; à outra parte deste mesmo grupo forneceu-se igual alimento, sem restrição de quantidade, e durante o mesmo período de tempo. Ao final da experiência, as diferenças entre os dois grupos eram notáveis e muito importantes. Os animais do grupo fartamente alimentado estavam muito maiores ao fim de 16 semanas, e seus ossos muito mais maciços. Ao final do seu crescimento, verificou-se que os submetidos à dieta restrita apresentavam crânios mais alongados e mais estreitos. A região lombar de suas colunas vertebrais (quadris) era mais afilada e suas cinturas pélvicas maiores em comparação com os submetidos à dieta irrestrita, embora levando mais tempo para atingir pleno desenvolvimento.

Variação, no tamanho e forma do corpo, de suínos alimentados fartamente, sem restrições (em cima), e com uma dieta restrita (embaixo)



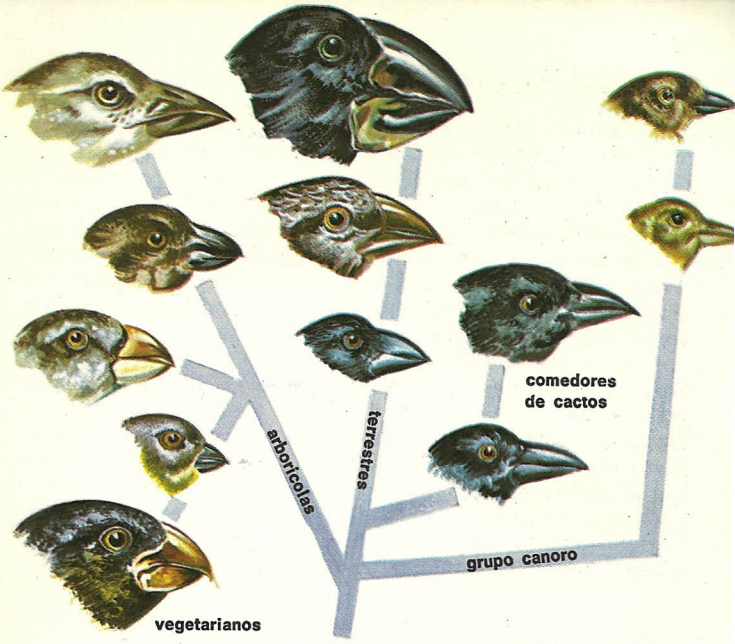
Isolamento geográfico

As aves das Ilhas Galápagos constituem um admirável exemplo de evolução e de diversificação adaptativa. A vida encontrada nas Ilhas forneceu a Darwin alguns dos primeiros elementos para os seus estudos sobre a evolução. A vida animal assim como a vegetal chegou até ali por eventual transporte através do oceano. Inclui várias espécies de aves, uma de rato, de morcego, de tartaruga gigante, de cobra, de lagarto, de lagartixa e iguanas, assim como um número limitado de insetos e lesmas terrestres, mas nenhum anfíbio.

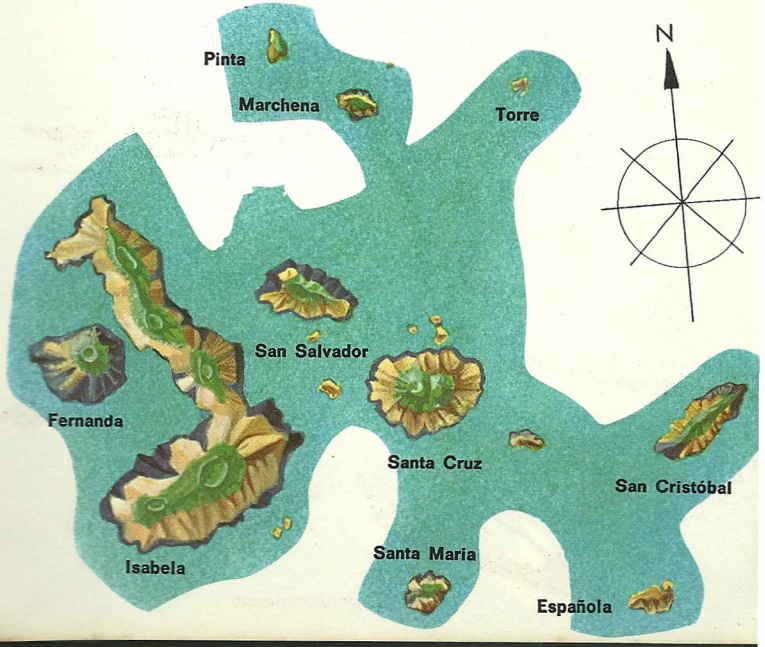
As reduzidas quantidades de animais significavam que a competição era menor, e que as espécies podiam ocupar não somente seu habitat usual, mas outros também, que não estavam sendo ocupados por competidores como ocorria no ambiente continental, de onde tinham provindo.

Ao estudar a vida das treze maiores ilhas que se encontram separadas umas das outras por distâncias que chegam a 160 km, verifica-se que vários animais das Galápagos formaram subespécies insulares distintas. O grupo de quatorze espécies de tentilhões ilustra bem a extrema diferenciação insular. Devem ter existido no arquipélago há um tempo considerável, suficiente para que dessem origem a subespécies totalmente distintas, numa diversificação capaz de fazer surgir uma série de aves que ocupam os mais variados habitats e apresentam formas e comportamentos totalmente diferentes, em comparação com os tentilhões originais.

Os bicos dos tentilhões variam de acordo com seu regime alimentar. As cinco espécies de tentilhões terrestres se assemelham muito às espécies sul-americanas que se alimentam principalmente de sementes. Duas dentre elas abandonaram o solo para se alimentar de um cacto espinhoso *(Opuntia)*. As espécies que vivem em árvores possuem bico adaptado para captura de insetos, apesar de uma delas ser vegetariana. Existe neste grupo um tentilhão parecido com o pica-pau, o *Camarhynchus pallidus*, que trepa nas árvores como ele, e retira os insetos das cascas dos troncos e galhos com uma vareta. O grupo de tentilhões canoros, os *Certhidae*, têm bicos alongados e delgados para comer os insetos moles e seu comportamento é semelhante ao dos verdadeiros pássaros canoros. Evoluíram para preencher este papel, já que até recentemente não havia espécies canoras nas ilhas. O quarto grupo é formado por um único elemento, o tentilhão Cocus, encontrado unicamente na Ilha Cocus Reconhecem-se várias subespécies por todo o arquipélago; diferem apenas no que se refere a aspectos menos importantes de cor e tamanho.



Grupos de tentilhões (em cima) observados por Darwin nas Ilhas Galápagos (embaixo)



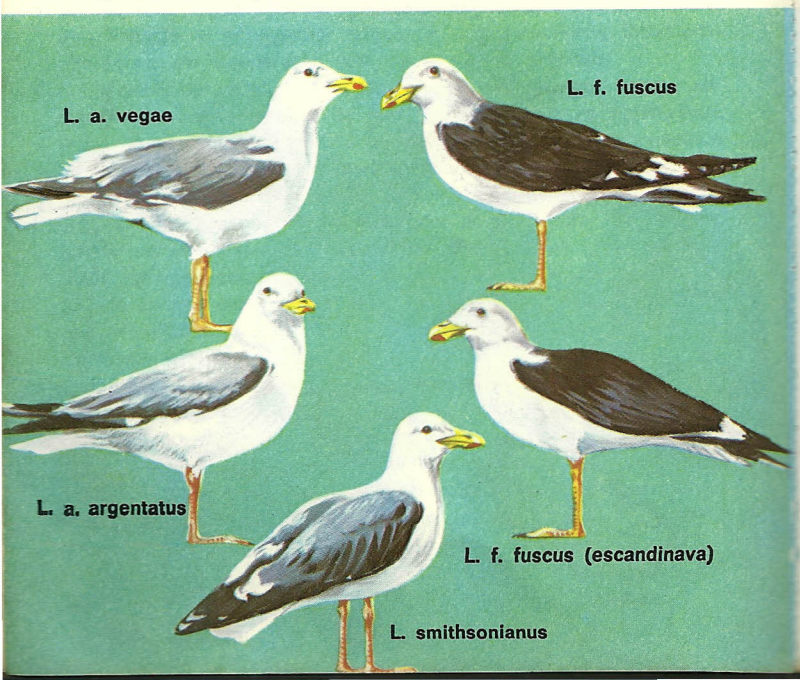
Variedade geográfica

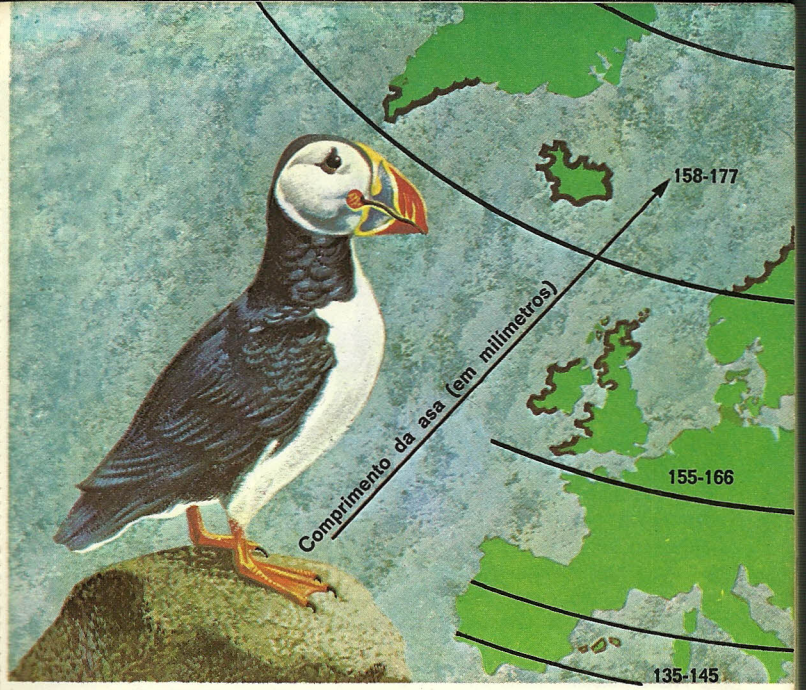
Quando uma espécie ocupa uma área extensa, uma observação mais atenta revela que certos caracteres variam nas diferentes partes da região. A variação pode ocorrer no tamanho, cor, forma e outras particularidades. A essa série gradativa de caracteres dá-se o nome de *gradiente (cline)*, termo introduzido por Sir Julian Huxley, um biólogo e evolucionista contemporâneo muito conhecido.

A gaivota *Lesser Black-backed* e a gaivota *Herring* ocupam uma faixa circular em torno do Pólo Norte. A gaivota (*Larus argentatus vegae*) vive nas praias do Oceano Ártico, na Sibéria Oriental; apresenta patas de uma apagada cor róseo-amarelada e um manto escuro. Mais a leste, atravessando o Estreito de Bering e entrando no Alasca, essa gaivota se apresenta sob a forma de gaivota americana (*Larus argentatus smithsonianus*); e, através do Atlântico, como a gaivota (*Larus argentatus argentatus*), com pernas um pouco mais escuras que as da *Vegae*, porém com manto mais claro.

Na direção oeste, a partir da Sibéria, a gaivota *Vegae* é substituída pela gaivota (*Larus fuscus fuscus*) já mencionada, e pela subespécie inglesa (*Larus fuscus graellsii*). Assim, existe um reservatório gênico contínuo de gaivotas em volta do Pólo Norte; e as variedades se intercruzam ao longo daquela faixa circular. Entretanto, os extremos dessa cadeia se sobrepõem na Inglaterra, onde a gaivota (*L. f. fuscus*) e a gaivota *Herring* vivem, lado a lado, diferindo, porém, na aparência e no comportamento. A gaivota (*L. f. fuscus*) se reproduz em terra, relativamente longe da praia, e migra no inverno; enquanto que a gaivota *Herring* constrói seus ninhos em penhascos à beira-mar e não é migratória. Não cruzam entre si, comportando-se como espécies distintas.

Variação gradativa de caracteres (gradiente) observada em gaivotas ao longo da faixa circumpolar

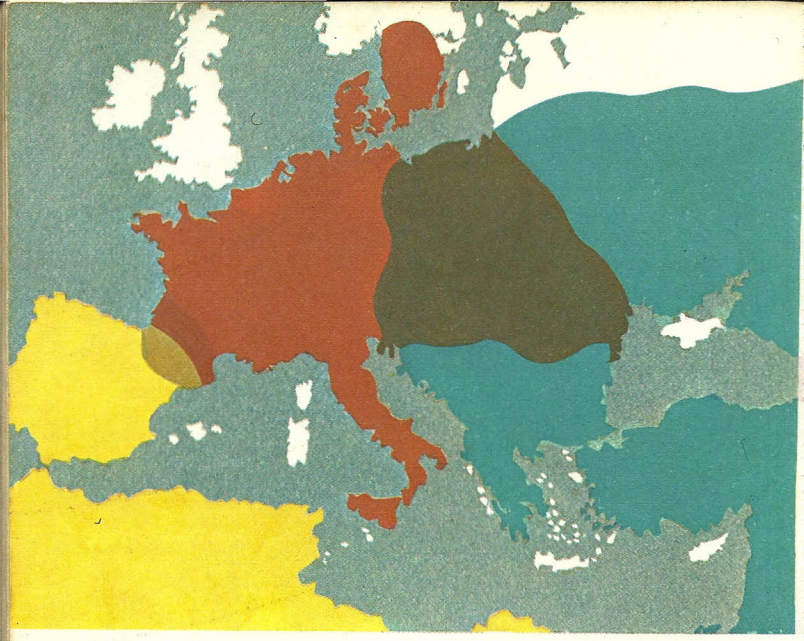




Variação gradativa na envergadura da asa (gradiente de tamanho) do papagaio-do-mar em proporção ao avanço latitudinal para o Norte

O papagaio-do-mar fornece um bom exemplo de gradiente de tamanho. Sua transformação progride aos poucos, desde as Ilhas Baleares, no Mediterrâneo, até Spitzbergen, no Ártico. A envergadura das asas destas aves aumenta à razão de um por cento para cada dois graus de avanço na latitude norte.

Este é também um exemplo da Regra de Bergmann, segundo a qual os animais de sangue quente aumentam de tamanho nos climas frios. É um recurso de adaptação para reduzir a perda de calor, já que quanto maior o animal, menor é a razão entre o seu volume (que produz calor) e a sua superfície (que perde calor).



Distribuição sobreposta de rãs cosmestíveis

Isolamento ecológico

O isolamento biológico é uma condição necessária para que as espécies se diferenciem e formem espécies novas. Como vimos, o isolamento pode ser geográfico quando obstáculos topográficos, tais como cadeias de montanhas, separam populações inteiras. É igualmente muito importante o isolamento ecológico, que ocorre quando partes de populações são separadas por serem diferentes os modos de vida como, por exemplo, os relacionados com a alimentação, reprodução, construção dos ninhos, ou adaptações a diferentes graus de temperatura ou de salinidade.

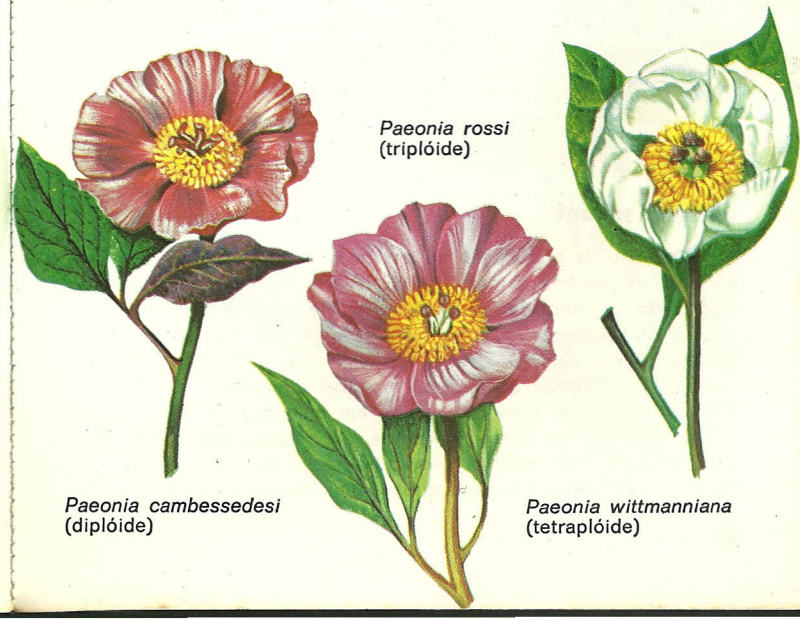
A distribuição geográfica sobreposta é exemplificada pela *Rana esculenta* e pela *Rana ridibunda*, que são espécies de rãs comestíveis. A distribuição da segunda se sobrepõe à da primeira a leste e a oeste, com uma subespécie oriental e outra ocidental. Normalmente as duas espécies não cruzam entre si porque existe uma barreira de isolamento reprodutivo – a *Rana ridibunda* se reproduz mais cedo que a *Rana esculenta*.

Isolamento genético

Plantas aparentadas, vivendo lado a lado, podem permanecer isoladas pela sua incapacidade de cruzar e produzir descendentes férteis. A causa freqüente deste fenômeno é a incompatibilidade existente entre duas plantas, no que se refere aos respectivos mecanismos gênicos e cromossômicos.

Quando a *Primula verticullata* é cruzada com a *Primula floribunda*, resulta uma prole híbrida que é estéril porque os cromossomos de uma espécie genitora são incompatíveis com os da outra. Nestas condições, a formação de pares entre o conjunto de cromossomos do macho e os da fêmea é dificultada e fica impedida a produção de células sexuais. Entretanto, ocasionalmente, a planta híbrida sofre o que se chama de *poliplóidia*. É um processo de aumento do número haplóide de cromossomos e, quando ocorre, produz híbridos capazes de cruzar com outros híbridos formados da mesma maneira, mas que são estéreis quando cruzados com as espécies parentais. Os híbridos produzem descendentes puros com estrutura e hábitos diferentes de cada uma das espécies parentais. Preenchem então todas as condições para constituir uma nova espécie, que, no caso, é a chamada *Primula kewensis*. Do mesmo modo, as peônias podem ser encontradas sob a forma diplóide, triplóide e tetraplóide.

Poliploidia em peônias



Ave-lira (macho)

Seleção sexual

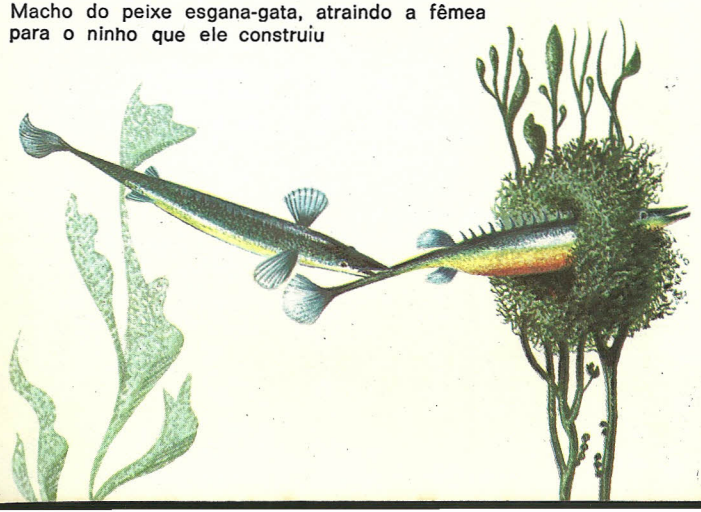
Na estação da reprodução de muitos insetos, peixes, aves e mamíferos, os machos exibem características ornamentais, que raramente são apresentadas pelas fêmeas. Darwin explicou estas variações de aparência na parte subsidiária de sua teoria que se relaciona com a seleção sexual. Explicou que, antes de ocorrer o cruzamento, a fêmea pode escolher entre diferentes pretendentes. Ela prefere um ou mais na medida em que mostram certas diferenças, embora nos pareçam ligeiras, em relação aos demais. Esses caracteres dos machos escolhidos serão herdados e aparecerão na prole masculina, porque os genes correspondentes estarão nos cromossomos sexuais e, portanto, ligados ao sexo. Darwin argumenta que os indivíduos dotados de cores vivas e atraentes, estruturas bem desenvolvidas e comportamentos sofisticados têm maiores oportunidades de cruzamento e de produzir prole mais numerosa. Há muitas objeções à teoria de Darwin. Na maioria dos casos, estes caracteres sexuais secundários não resultam de seleção sexual, no sentido atribuído por Darwin, porém muito mais de uma seleção natural que favorece a atividade reprodutiva geral por meio de evidentes sinais de reconhecimento, comportamento viril, capacidade de luta, etc.

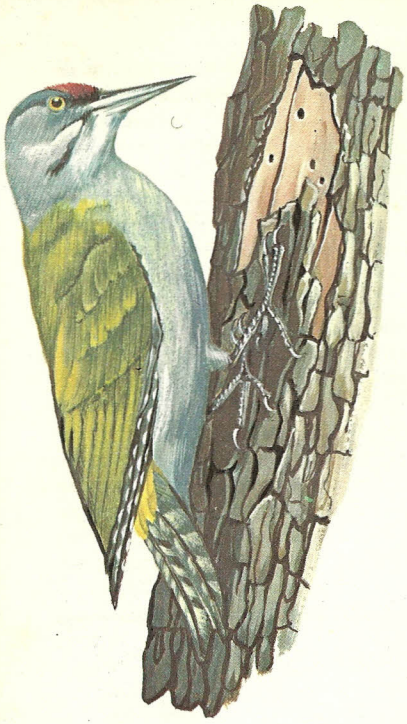
Esta fase da seleção não promove a eliminação dos menos dotados, mas dificulta ou impede sua reprodução. É muito efetiva entre os machos já que normalmente as fêmeas conseguem ser fertilizadas, enquanto geralmente há grandes lutas entre os machos pelo domínio de territórios de reprodução e pela posse das fêmeas.

O macho da ave-lira *(Menura superba)* exibe seus recursos de beleza sob a forma de 16 magníficas penas caudais especializadas. Espalha a cauda por cima da sua cabeça, em direção à frente, e faz vibrar as penas até que se assemelhem a uma trêmula névoa luminosa.

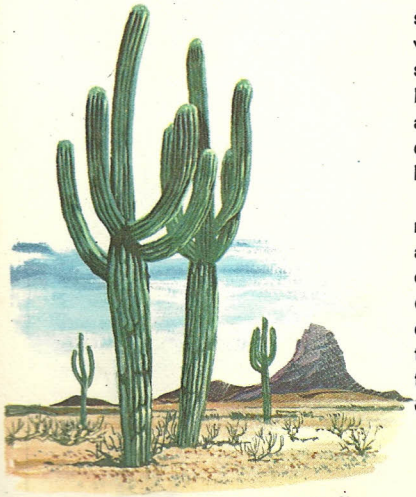
Na primavera, o macho do peixe esgana-gata *(Gasterosteus aculeatus)* se prepara para fazer a corte à fêmea, desenvolvendo cores branco-azuladas no seu dorso e um vistoso vermelho na garganta e no ventre. Escolhe seu território residencial, constrói um ninho e defende seus direitos contra todos os outros machos. A seguir, tenta atrair uma fêmea, portadora de ovos, por meio da mais elaborada dança ziguezagueante. Quando bem sucedido, termina sua função reprodutora fertilizando os ovos que a fêmea acabou depositando no ninho que ele havia preparado.

Macho do peixe esgana-gata, atraindo a fêmea para o ninho que ele construiu





Pica-pau (em cima) e cactos do deserto (embaixo)



Adaptação

A adaptação desenvolve, num animal ou numa planta, características que os capacitam a sobreviver no ambiente onde vivem.

O pica-pau, por exemplo, apresenta quatro características adaptativas principais. Seus quatro dedos, dotados de garras bem desenvolvidas, estão dispostos de tal modo que dois deles encontram-se voltados para frente e os dois outros, para trás; isto lhe permite agarrar-se o mais firmemente possível nas árvores. As penas caudais são rijas e podem ser usadas para amparar o pássaro com maior segurança contra o tronco. Seu bico é alongado e forte, de modo que pode facilmente perfurar a casca das árvores. Finalmente, sua língua é muito comprida, facilitando-lhe o acesso até o fundo dos orifícios que faz, a fim de capturar larvas.

Muitos outros indivíduos desenvolveram adaptações para o vôo, como por exemplo os insetos, as aves e os morcegos. Em cada caso, a adaptação das asas baseou-se numa construção diferente, mas todos foram bem sucedidos no vôo.

Muitas espécies de plantas nativas de regiões desérticas, apesar de pouco relacionadas entre si, assemelham-se muito quanto ao aspecto geral. Isto é devido à adaptação similar de todas elas no sentido de garantir mínima perda de água por evaporação. Todas possuem uma epiderme resistente, folhas reduzidas, caules espessados e superfícies lisas, para se protegerem contra o ressecamento e a morte.

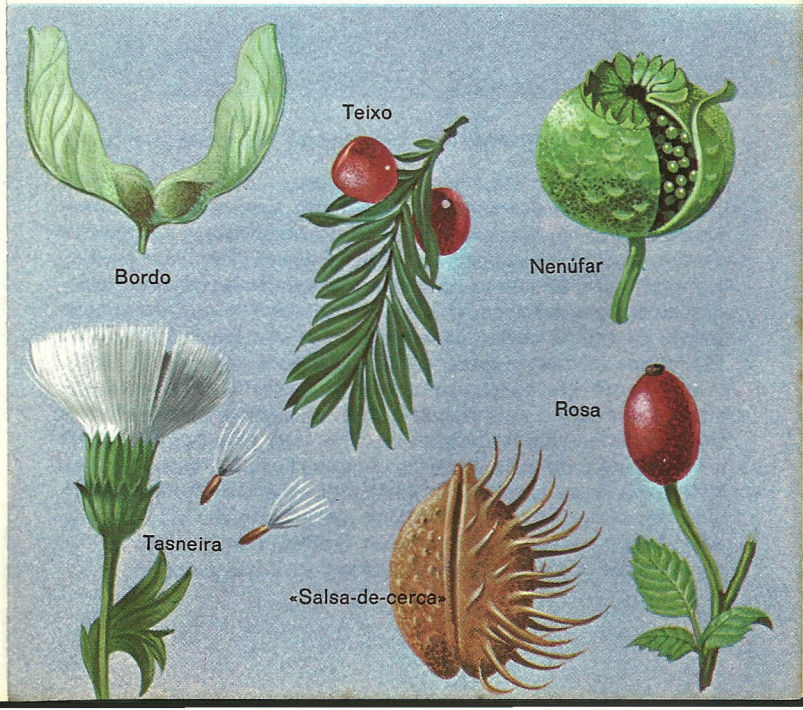
A sobrevivência de uma espécie vegetal depende muito do seu processo reprodutivo e da dispersão eficiente de suas sementes. É vantajoso para a espécie que estas sejam carregadas à alguma distância da planta de origem para evitar a competição pelo alimento, pela luz e a água. Muitos agentes naturais contribuem para isso, como por exemplo o vento, a água, as aves e outros animais.

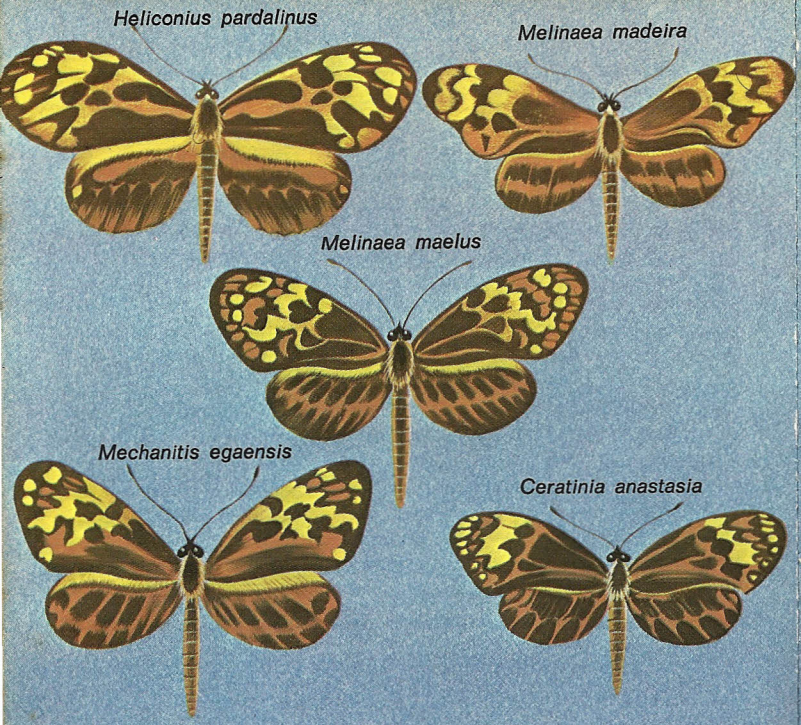
Algumas sementes, como as da tasneira, são tão leves que o vento facilmente as leva para muito longe; outras sementes, mais pesadas, apresentam uma estrutura que lhes permite ficar suspensas no ar, como é o caso do bordo.

A dispersão pela água é rara; no entanto, algumas plantas, como as da família das Ninfeáceas, têm sementes dotadas de uma capa esponjosa que lhes permite flutuar.

Muitas sementes apresentam minúsculos ganchos de modo que podem aderir ao pêlo dos animais que passam por perto, e que se despojarão delas em locais distantes da planta de origem. Outras, ainda, como o fruto da roseira, têm colorido vistoso para atrair os pássaros.

As diferentes adaptações nas plantas para a dispersão das sementes

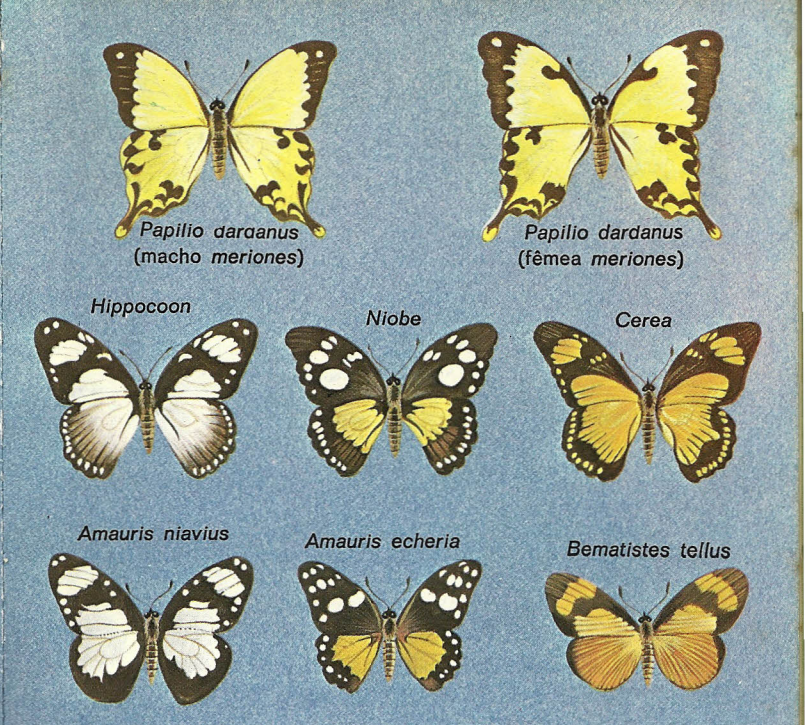




Borboletas que ilustram o mimetismo de Muller

O mimetismo de Muller

Mimetismo de Muller é o termo aplicado à semelhança existente entre espécies diferentes, que repugnam a seus predadores naturais. Assim, há espécies diferentes de borboletas que se parecem muito entre si, a ponto de serem indistinguíveis para os pássaros. Conseqüentemente, o pássaro predador, após uma experiência desagradável com qualquer delas, aprende a evitar aquele padrão de cores. Assim, todas as espécies são beneficiadas, e as perdas, no cômputo geral, são grandemente reduzidas. Quanto maior é o número de espécies incluídas nesse tipo de mimetismo, maior a vantagem, e, conseqüentemente, menor a perda, só que, evidentemente, algumas borboletas têm que ser sacrificadas na educação de cada nova geração de pássaros. No mimetismo de Muller, a semelhança entre as formas não é necessariamente muito exata, como ocorre no mimetismo de Bates, porque a base daquele reside no padrão de cores. A ilustração acima mostra diferentes espécies de borboletas sul-africanas.



Borboletas que ilustram o mimetismo de Bates

O mimetismo de Bates

Quando espécies, que agradam aos predadores e estão desprotegidas quimicamente, adquirem proteção, mimetizando espécies que repugnam aos predadores, tem-se o mimetismo de Bates. Neste caso, é óbvio que as imitações nunca devem exceder certo número com relação ao número dos modelos sob a ameaça de perder seu efeito. Há variedades que têm alto índice de sobrevivência, porque repugnam aos predadores. Assim, a seleção natural favorece as espécies que apetecem aos predadores, porém têm maior semelhança com as que eles detestam. Quanto maior for a semelhança, tanto mais eficaz a proteção. Bates observou este fenômeno inicialmente na África, ao estudar a borboleta africana, *Papilio dardanus,* muito difundida naquele continente. Os machos desta espécie não têm a proteção desse mimetismo; conseqüentemente distinguem-se com facilidade das borboletas que não agradam aos pássaros e são devorados em grande quantidade. Mas as fêmeas são protegidas pelo mimetismo de Bates.

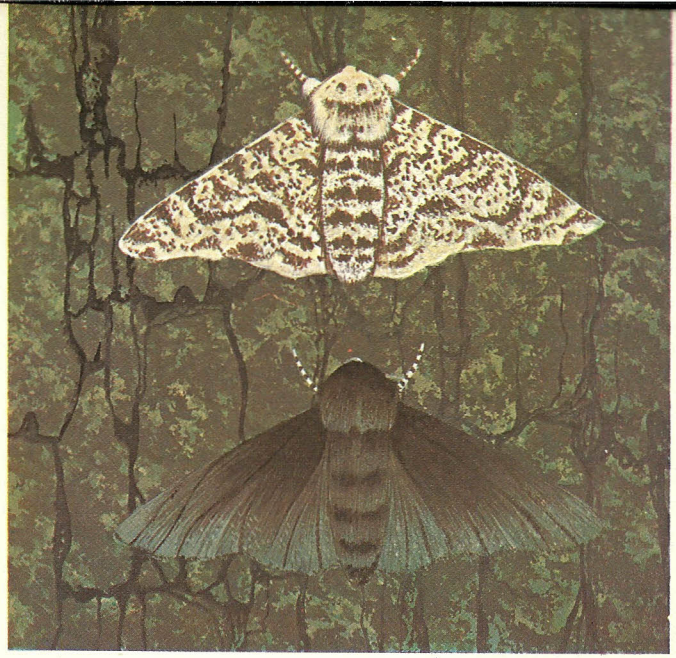
A forma de coloração clara (em cima) é favorecida por um tronco coberto de liquens

A seleção natural

Os efeitos do ambiente sobre certas variantes de uma espécie são mensuráveis a partir dos conhecimentos modernos de genética, ecologia, zoologia e matemática. Isto permite ao pesquisador estudar os efeitos a longo prazo e descobrir se ocorrem mudanças evolutivas.

A pesquisa de H. B. D. Kettlewell sobre o melanismo industrial ilustra estas mudanças evolutivas. É o fenômeno pelo qual as mariposas vêm transformando seus complicados padrões de coloração de um tom claro para outro, muito mais escuro. O primeiro trabalho de Kettlewell foi realizado com a mariposa *Biston betularia*, se bem que esta não seja a única espécie em transformação.

Antes da Revolução Industrial, a maioria das árvores da Grã-Bretanha tinham seus troncos recobertos por liquens. Isto só ocorre atualmente nas áreas não poluídas. A poeira de carvão e a fumaça das fábricas exterminaram os liquens das árvores das regiões industriais, cujos troncos e galhos se escureceram intensamente. A forma típica acinzentada daquela mariposa é facilmente



A forma melânica (escura, embaixo) é favorecida por um tronco coberto de fuligem

camuflada quando ela pousa na casca de árvores recobertas por liquens, onde se torna praticamente invisível aos pássaros predadores. Antes de 1848, essa era a única forma que se registrava, porém logo apareceu a *Biston carbonaria*, variedade melânica escura. Esta variedade difere da *betularia* por um único gene dominante originado por mutação. A princípio, a variedade *carbonaria* era constantemente dizimada, por ser mais visível nos troncos claros das árvores. Entretanto, devido ao escurecimento gradual do ambiente, resultante da poluição causada pelas fábricas, a variedade *betularia*, mais clara, passou a ser mais visível, e a constituir o alvo principal dos pássaros, em lugar da *carbonaria* escura, que melhor se disfarçava nos troncos enegrecidos.

Por volta de 1900, a forma melânica *carbonaria* excedeu em número a forma *betularia* na área de Manchester. Ocorrera uma modificação total em apenas cinqüenta anos. Hoje em dia, só se encontra a variedade *betularia* nas regiões não poluídas do Norte da Escócia, Oeste do Devonshire e Cornwall, assim como em certas áreas do litoral sul.

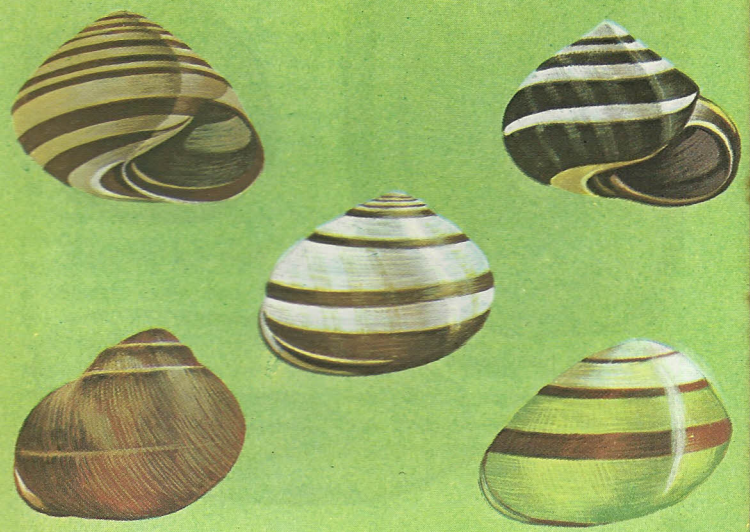
Seleção natural dos caracóis terrestres

O caracol terrestre *(Cepaea nemoralis)* é altamente polimórfico. Cain e Sheppard estudaram a grande variação de cores e listras das conchas nos mais diversos ambientes. A concha pode ser amarela, rosada ou marrom, e pode apresentar cinco listras, uma só, ou nenhuma. Encontram-se todas as combinações possíveis entre cor e padrão das riscas, embora algumas sejam mais comuns que as outras. O marrom é dominante sobre a cor rósea que, por sua vez, é dominante sobre o amarelo, sendo as três cores aparentemente controladas por três alelomorfos. A ausência de listras é dominante sobre a presença destas e o loco deste gene está ligado ao loco do gene para a cor. A forma com uma listra é dominante sobre a de cinco e não é controlada pelo loco que determina a presença ou a ausência de listras. As proporções dos vários tipos de cores e listras difere consideravelmente de uma colônia para outra, sendo que Cain e Sheppard descobriram que estavam estreitamente relacionadas à ecologia da área. A coloração mais comum das conchas é aquela que menos chama a atenção dos predadores na vegetação predominante no local. Assim, a cor mais vantajosa é a amarela (esverdeada, quando o animal ainda vive no seu interior) em áreas verdes, a rosada sobre folhas secas, e a avermelhada ou marrom em bosques de faias, forrados de palha, ou em vários locais de solos escuros.

A migração dos caracóis, de áreas desfavoráveis para áreas favoráveis, é altamente improvável, pois as distâncias representam formidável obstáculo, de modo que a aparência dos caracóis, em determinadas áreas é um reflexo da ação dos predadores, que se guiam pela vista. Estes incluem pequenos mamíferos como o coelho, por exemplo, que é capaz de distinguir as tonalidades de cor, o que não acontece com a maioria dos mamíferos. Os pássaros, particularmente o tordo canoro, são os principais inimigos dos caracóis, pois conseguem distinguir as cores. Costumam quebrar as conchas sobre pedras apropriadas, que usam como bigorna, para retirar as partes moles do animal. Ao estudar os restos de conchas, pode-se descobrir se o tordo tem alguma preferência por certas cores ou se come qualquer caracol ao acaso. A maioria dos estudos realizados a respeito, em diferentes áreas, indicaram que os pássaros capturam seletivamente os caracóis, destruindo uma parte considerável daqueles cujos padrões e cores melhor revelam sua presença no ambiente. Assim, a seleção natural está atuando neste caso também, apesar de que em certas áreas não ocorre seleção por padrões de cores, devido à enorme variedade de espécimes aí existentes.

Os tordos são os inimigos principais dos caracóis

Diferentes tipos de conchas da *Cepaea nemoralis*

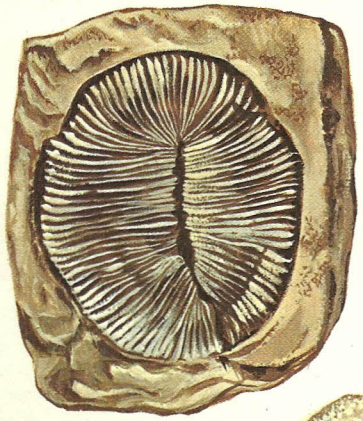


O CURSO DA EVOLUÇÃO

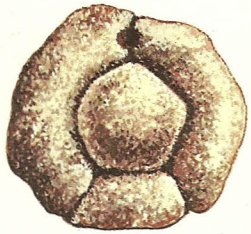
O longo tempo compreendido entre a origem da Terra, há cerca de cinco bilhões de anos, e o Período Cambriano, há cerca de 520 milhões de anos atrás, é freqüentemente mencionado como totalmente estéril. Entretanto, o Período pré-Cambriano comportou certamente algumas formas principais de vida não especializada, já que a Terra se tornou habitável provavelmente há cerca de três bilhões de anos. Encontram-se muito poucos fósseis nas rochas mais profundas do Período pré-Cambriano, enquanto que as rochas cambrianas contêm uma quantidade de vida animal e vegetal extensa e diversificada.

Entretanto, existem várias explicações plausíveis desta falta de evidências fósseis. Muitas das formas fósseis devem ter sido destruídas pela erosão ou por metamorfismo com o decorrer dos tempos, ou então, ainda não foram descobertas. No entanto, um fato importante a ser levado em conta é que as primeiras formas deviam certamente ser de consistência mole, portanto incapazes de se preservarem como fósseis.

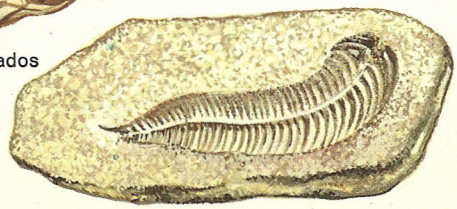
Os primeiros fósseis que conhecemos nos parecem extremamente complexos em relação aos organismos inferiores que devem ter existido na origem da vida. Os fósseis do pré-Cambriano provocam muita perplexidade entre os paleontologistas no que se refere à sua idade e forma real. Descobriu-se uma impressão medusóide, que corresponde provavelmente a uma água-viva, em rochas pré-cambrianas do Grand Canyon, assim como algumas algas e esponjas foram identificadas em rochas pré-cambrianas da Escócia, e importantes vestígios de vermes, celenterados e equinodermos, na Austrália.



Vermes fossilizados

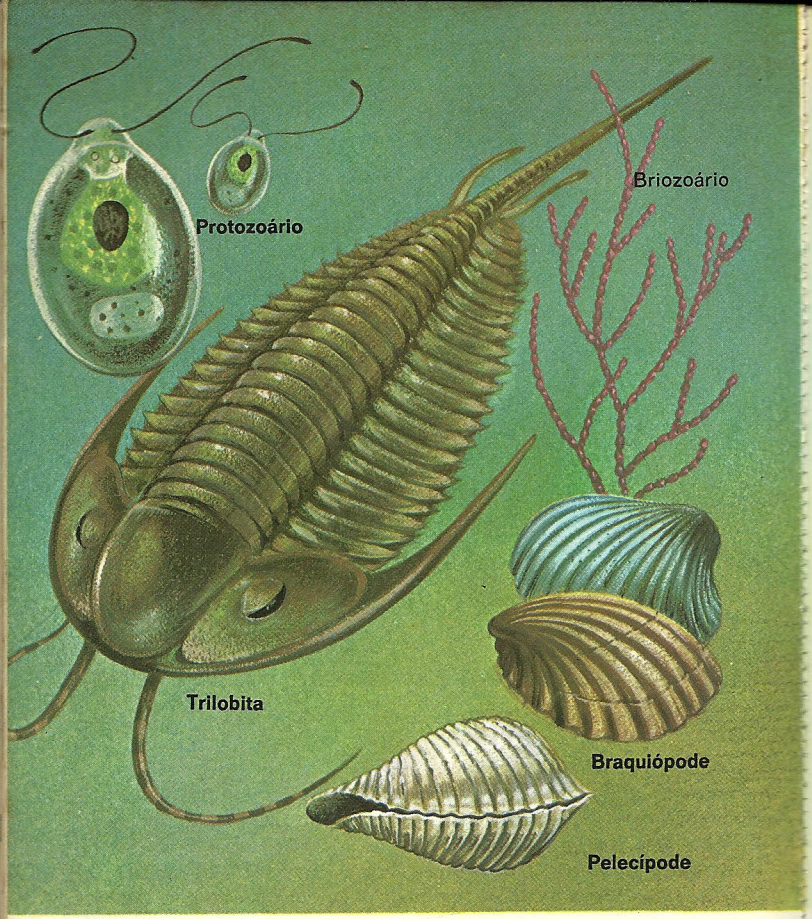


Água-viva fossilizada



Um provável cenário do Período Cambriano Médio

Ouve-se freqüentemente falar na grande lacuna entre o Período pré-Cambriano e o Período Cambriano Inferior, quando surgiu, aparentemente de maneira repentina, uma ampla faixa de vida animal e vegetal, muito bem fossilizada. Entretanto, é preciso lembrar que o Período Cambriano durou cerca de 90 milhões de anos, e que, em conseqüência, houve tempo suficiente para que ocorressem formas aparentemente «repentinas». Existe abundante documentação sobre invertebrados marinhos e algas, sendo que os trilobitas parecem ter constituído o grupo dominante. Em realidade, já naquele tempo devem ter existido representantes de todos os filos de plantas e animais.



Um número variado de formas de invertebrados evoluiu nos mares rasos dos períodos Paleozóico e Cambriano

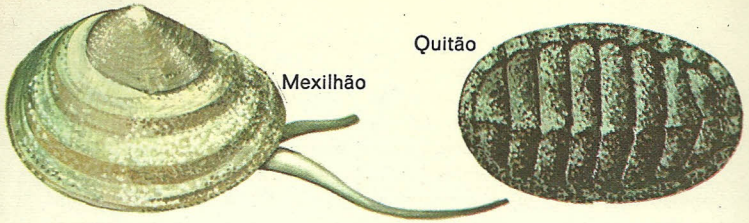
Invertebrados marinhos

Deve-se ter em mente que o aspecto da Terra era bem diferente no início do Paleozóico do que se apresenta hoje em dia. Parece que uma enorme massa de terra se estendia desde as Ilhas Galápagos, a oeste da América do Sul, até o leste da Austrália. O clima era uniforme mas a terra era estéril, excessão feita para algumas algas verdes que cobriam as rochas. A vida nos mares não tinha evoluído além da fauna dos invertebrados. No entanto, mesmo entre estes animais, existia fortíssimo movimento no sentido de diversificação para formas distintas.

Nos mares rasos encontravam-se esponjas, águas-vivas, gastrópodes, braquiópodes, vermes, artrópodes e equinodermos. As esponjas (filo *Porífera*) são os mais simples dos animais pluricelulares. As esponjas cambrianas eram sésseis e variavam amplamente em tamanho, forma e cor. Até cem anos atrás, não se tinha conseguido definir-lhes uma posição na tabela de classificação. Finalmente, provou-se que eram animais provavelmente originados dos protozoários. As esponjas, que dão a idéia de uma espessa peneira, são constituídas de células animais. As paredes do corpo são perfuradas de poros e canais, e, a água flui para dentro e para fora da cavidade central pela parte superior, através de uma ou mais aberturas. Muitas têm um arcabouço de espículas de sílica, quer separadas, quer reunidas para formarem uma espécie de esqueleto estrutural. Muitas delas se fossilizaram, produzindo formas realmente belas.

Acima destes habitantes fixos no fundo dos mares, flutuavam os pólipos das medusas. Seus corpos de consistência mole foram raramente preservados, porém mesmo assim, são conhecidos desde os primeiros tempos cambrianos. Anêmonas marinhas, corais, gorgônias e alcionárias, como a medusa, pertencem ao filo dos *Coelenterata.* São todos aquáticos, vivem isolados ou em colônias e apresentam a cavidade do corpo, em forma de saco, com um anel de tentáculos ao redor da abertura única. Alimentam-se de diversos seres vivos: alguns capturam e ingerem apenas organismos microscópicos, enquanto outros, bem maiores, devoram moluscos, crustáceos e até pequenos peixes, que paralisam previamente por meio de células que agem como ferrões.

As mais características de todas as formas de vida dos mares cambrianos foram os braquiópodes, os moluscos marinhos do fundo do mar e os predominantes trilobitas. No Paleozóico Inferior, eram muito abundantes e universais, hoje, porém, só se encontram nos mares umas 200 espécies. As conchas dos braquiópodes se constituem de duas valvas, bilateralmente simétricas, que envolvem e protegem as partes moles do corpo. Em vez de se ajustarem uma à outra, as valvas diferem de tamanho, ao contrário dos verdadeiros moluscos bivalves, como o berbigão e o mexilhão. O animal se encontra normalmente preso ao solo marítimo por um longo pedículo carnoso, ou pedicelo, que usualmente atravessa a valva maior. A *Lingula,* espécie que tem a forma de uma pequena língua, é um exemplo de braquiópode simples dos mares cambrianos, que permaneceu inalterado até os nossos dias.

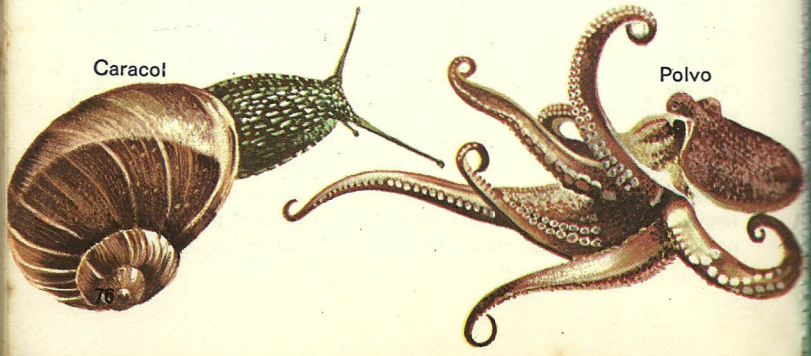


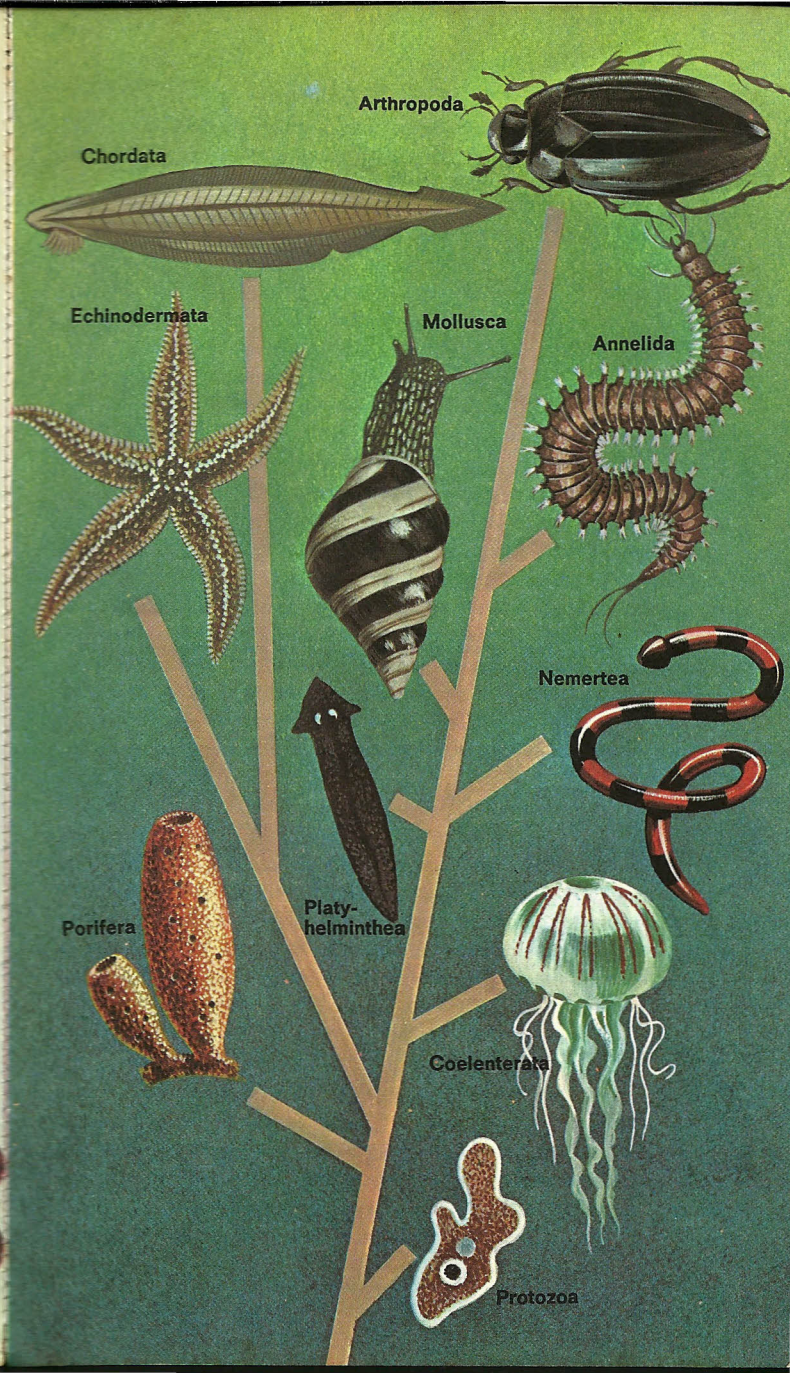
Moluscos

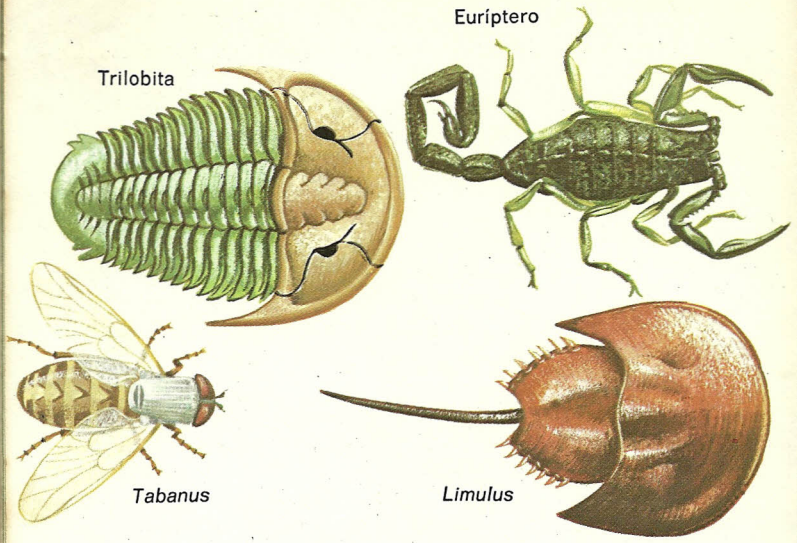
Caracóis de lenta movimentação encontrados nos grupos de rochas do Período Cambriano foram os mais antigos representantes de um dos mais variados e bem sucedidos grupos do mundo de hoje. O filo *Mollusca* inclui animais como lesmas, caracóis, ostras, mexilhões, quitões, sibas e octópodes. Apresentam grande variedade de tamanho, forma e contorno. Mas partilham basicamente do mesmo plano estrutural do corpo, que é mole, não segmentado, apresentando uma cabeça anterior e uma grande massa visceral apoiada sobre um carnudo pé muscular. Uma delgada camada de carne, o manto, recobre quase todo o corpo, e secreta uma concha, na maioria das espécies do filo. Os caracóis têm uma única concha espiralada, enquanto que os mexilhões e as ostras apresentam uma concha constituída por duas valvas. O quitão tem oito lâminas protetoras móveis, enquanto nas sibas e nas lulas, há uma concha totalmente interna.

Apesar de as primeiras formas terem sido inteiramente marinhas, à medida que as condições se modificaram, os gastrópodes evoluíram lentamente para um grupo muito mais amplamente adaptado e diversificado. Hoje em dia, as 20.000 espécies modernas se encontram difundidas em ambientes de todos os tipos: marinhos, de água doce, terrestres, árticos, tropicais, desérticos, e desde as profundezas dos oceanos até cerca de 5.400 m acima do nível do mar.

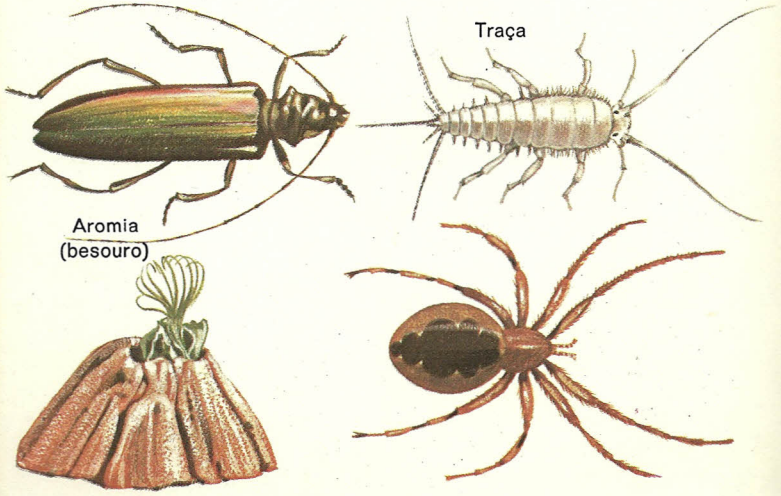
Membros do filo *Mollusca* (em cima e embaixo) e a evolução de vários invertebrados (pág. 77)







Formas primitivas (em cima) e representantes mais recentes (em-baixo), do filo Arthropoda



Artrópodes

Os artrópodes compreendem aproximadamente três quartas partes de todas as espécies animais conhecidas. Entre eles se incluem camarões, caranguejos, lagostas, cracas, aranhas, escorpiões, carrapatos e insetos, assim como os extintos trilobitas e euripterídeos.

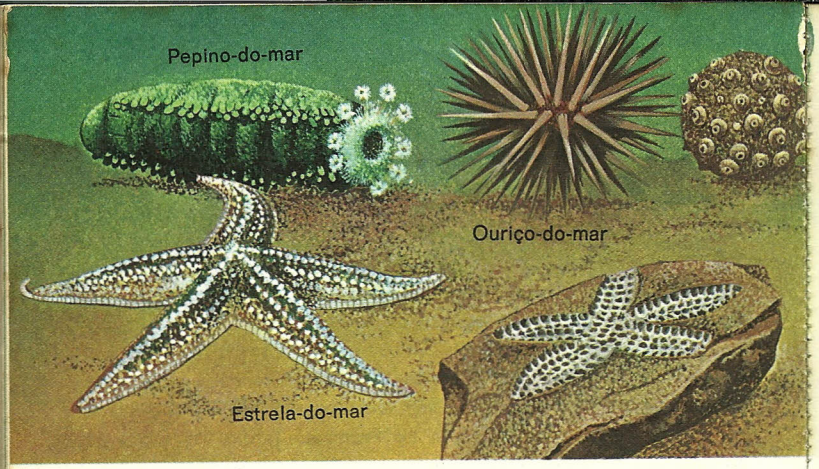
Os trilobitas dominaram os mares cambrianos. Apesar de terem existido cerca de 1.000 gêneros naquele período, atualmente estão todos extintos. A sua talvez seja a mais familiar entre as formas fósseis encontradas. Os trilobitas sofreram diversificações adaptativas, evoluindo para várias formas ajustadas a diferentes ambientes. Começaram um declínio uniforme durante o Ordoviciano até atingirem extinção definitiva no Permiano tardio, há cerca de 225 milhões de anos atrás.

Os extintos euripterídeos são os antigos correspondentes aquáticos dos escorpiões. Tinham habitualmente o comprimento de 30 cm, se bem que alguns chegassem a atingir 2,70 m de comprimento. Com o formato dos escorpiões, os mais antigos euripterídeos surgiram no Ordoviciano, atingiram o máximo da sua difusão no Siluriano e no Devoniano e se extinguiram no Permiano.

Relacionam-se também aos euripterídeos certos caranguejos ainda vivos, e cujos ancestrais apareceram no Cambriano. O *Limulus* é freqüentemente considerado como fóssil vivo; apesar de só encontrarmos, hoje em dia, formas marinhas, foram os primeiros animais a viver na água doce.

A ocupação total da água doce e da terra pelos animais só pôde ter ocorrido depois que aqueles meios se enriqueceram de plantas. Assim, não foi acidentalmente que animais e plantas terrestres surgiram aproximadamente no mesmo período do tempo geológico. As plantas serviam de alimento aos primeiros animais terrestres, que foram os artrópodes. A interdependência de animais e plantas tem uma importância evolucionária muito grande no surgimento de certos grupos animais e declínio de outros, na medida em que a flora ia-se transformando através dos vários períodos.

É surpreendente o sucesso que as ordens dos artrópodes lograram na conquista da terra, e para isso devem ter concorrido determinadas características. Uma das mais atuantes foi, sem dúvida, seu esqueleto quitinoso que os protege contra os perigos do ressecamento. Além disso, os artrópodes já eram dotados de apêndices que sustentavam seu corpo quando fora da água, e lhes forneciam um eficiente meio de locomoção.



Grupo de Equinodermos

Equinodermos, anelídeos e briozoários

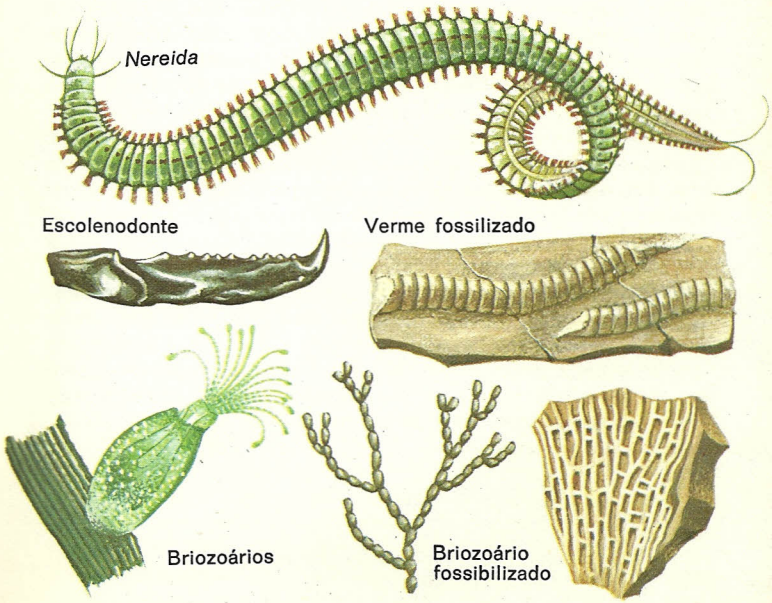
O filo *Echinodermata* inclui a estrela-do-mar, os ouriços, os ofiuróides, os lírios e pepinos-do-mar, assim como os extintos blastóides, cistóides e edrioasteróides. As formas mais primitivas datam do Período Cambriano e o filo é totalmente marinho, sendo algumas formas livres e outras fixas. Todos tendem a ser espinhosos e o corpo é revestido ou por uma concha circular calcária, como nos ouriços, ou por uma pele coriácea, de forma estrelada, salpicada de pequenas lâminas calcárias, como na estrela-do-mar Apresentam geralmente uma simetria pentâmera. As formas larvárias são surpreendentemente semelhantes às larvas dos hemicordados e isto levou alguns zoólogos a ligar os dois grupos. Os equinodermos podem ser aparentados às formas de que os cordados evoluíram.

Os equinodermos cambrianos são todos representantes de grupos arcaicos e atualmente extintos. O *Edrioaster*, um edrioasteróide extinto, era globular, e possuía cinco membros sinuosos que se irradiavam a partir da boca. Os eocrinóides que viviam presos no fundo dos mares cambrianos foram provavelmente os ancestrais dos crinóides e cistóides. Por volta da metade do Período Paleozóico, surgiram as estrelas-do-mar, os ouriços marinhos, os pepinos-do-mar e os crinóides, além de certo número de formas extintas, atualmente. Os crinóides e os extintos blastóides, ambos presentes já desde o Ordoviciano, foram os mais importantes equinodermos do Paleozóico. Encontraram-se abundantes crinóides nos depósitos de pedras calcárias do Siluriano em diante. Alguns nadavam livremente, enquanto outros eram fixos por um pedúnculo.

No filo *Annelida* a classe mais generalizada é a dos Poliquetas, vermes marinhos cerdados. Os vermes terrestres e formas aparentadas se agrupam na classe dos Oligoquetas (com poucas cerdas). As sanguessugas também são anelídeos e pertencem à classe dos Hirudíneos. Nos tempos cambrianos, somente evoluíram os vermes marinhos, mas parece que eram tão difundidos quanto os atuais. Seus corpos moles não permitiram a preservação fóssil, mas apesar disto encontram-se freqüentemente evidências de suas formas e hábitos. Os vermes geralmente são representados por seus rastos fossilizados, túneis, covas e partes de suas mandíbulas quitinosas *(escolenodontes)*.

Os briozoários eram raros até o Período Ordoviciano, se bem que os geólogos pareçam ter negligenciado este grupo. Muitos briozoários se assemelham aos corais pela sua forma externa porque o animal secreta um esqueleto calcário que lembra o aspecto de uma esteira ou de uma fronde. A palavra *Bryozoa* significa «animais musgos» e se refere a muitos briozoários, cujo aspecto se assemelha ao de plantas.

Representantes dos filos Annelida e Bryozoa



A origem dos vertebrados

Durante o Período Siluriano, existiam grandes massas terrestres, de clima uniforme, envolvidas por mares aquecidos, onde se podiam acumular lentamente pedras calcárias, areia e lama. Os invertebrados ainda eram os senhores dos mares, mas foi naquele período que surgiram os vertebrados e as plantas terrestres.

O vertebrado apresenta uma estrutura de sustentação alongada e forte que se estende por todo o dorso do seu corpo. Nos grupos mais característicos, esta estrutura é de osso e segmentada para oferecer não só rigidez, mas também flexibilidade ao animal. Classificam-se os animais portadores desta coluna dorsal no filo *Chordata*.

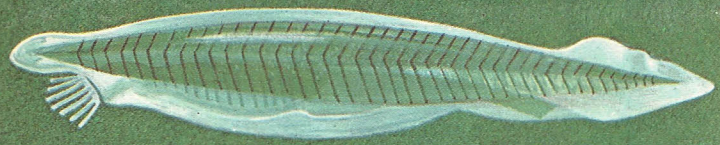
A prova da evolução dos vertebrados se apóia no estudo dos embriões e na anatomia comparada. Os indícios logo aparecem ao se pesquisarem uns poucos vertebrados que, à primeira vista, quase não apresentam semelhança com as espécies superiores, dotadas de coluna dorsal. São conhecidos como *Protochordata* e compreendem os ascídios, os branquióstomos e os enteropneustos. São classificados com os vertebrados porque, em algum estágio de suas vidas, apresentam uma coluna rígida (o notocórdio), bolsas ou fendas branquiais faríngeas e um cordão nervoso dorsal.

Os tunicados ou ascídios, quando na forma adulta, parecem à primeira vista ter sido mal classificados. São fixos, têm forma de saco semelhante à das esponjas, corpo externamente rijo, e freqüentemente se agrupam em colônias, presas às rochas ou plantas marinhas dos mares rasos. Não apresentam cordão nervoso, vértebras ou notocórdio, se bem que possuam fendas branquiais. No entanto, o ascídio é um vertebrado, como o prova sua forma larval. A larva nada livremente, tem a forma de um girino e é dotada de um notocórdio e de um cordão nervoso.

A larva do ascídio se assemelha muito ao anfioxo adulto, que é um branquióstomo, outro cordado primitivo, de cerca de 5 cm de comprimento e de corpo translúcido e alongado. Possui um notocórdio, um cordão nervoso dorsal, fendas branquiais e um trato digestivo ventral simples.

Embora estes cordados modernos tenham certamente mudado, em comparação com as formas originais não especializadas, não diferem muito dos cordados primitivos, que por sua vez estabelecem um vínculo entre invertebrados e vertebrados.

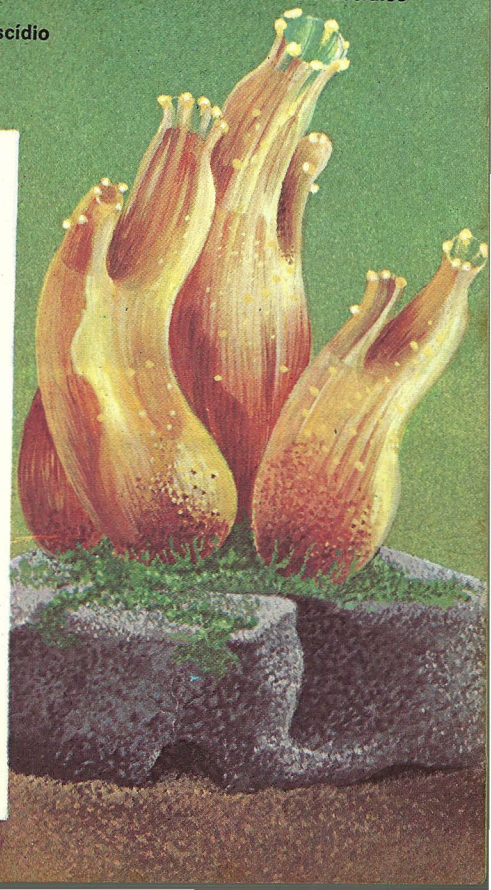
(Na pág. 83)
Os Protocordados fornecem indícios sobre a origem das formas vertebradas

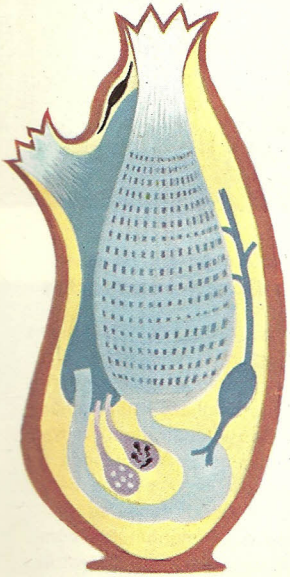


Anfioxo

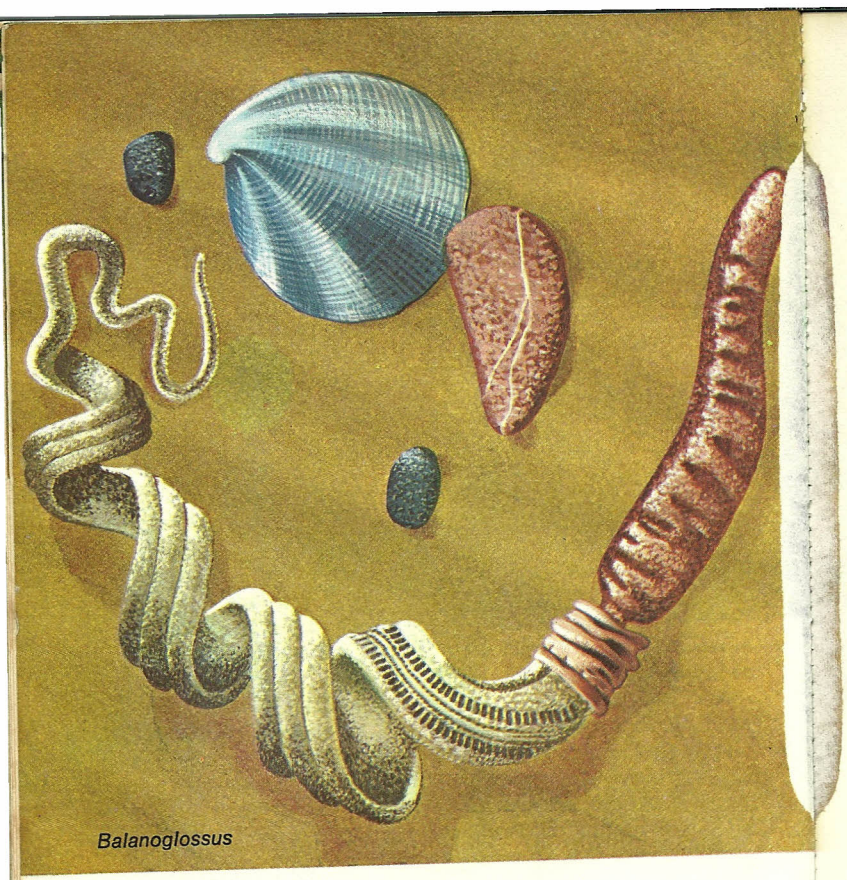
Larva de ascídio

Colônia de ascídios





Anatomia de um ascídio



Balanoglossus

Um vínculo de importância vital — Os enteropneustos

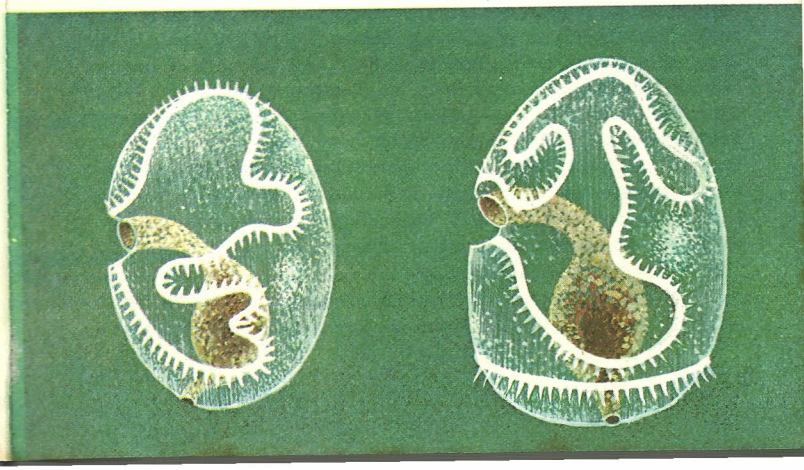
Os enteropneustos são vermes marinhos de organização simples que vivem entocados. Incluem o *Balanoglossus*, o *Glossobalanus*, o *Ptychodera* e o *Saccoglossus*. São os vertebrados mais primitivos, que pela sua aparência externa se assemelham muito mais aos invertebrados do que aos vertebrados. São encontrados em tocas nas areias e lamas dos mares rasos. Alimentam-se estendendo a boca para fora da toca e aspirando partículas de areia e lama para dentro do seu canal alimentar simples, que extrai daqueles elementos o material orgânico. A boca não deve ser confundida com a probóscide, órgão escavador, cilíndrico e muscular, que se retrai num colar em redor da boca.

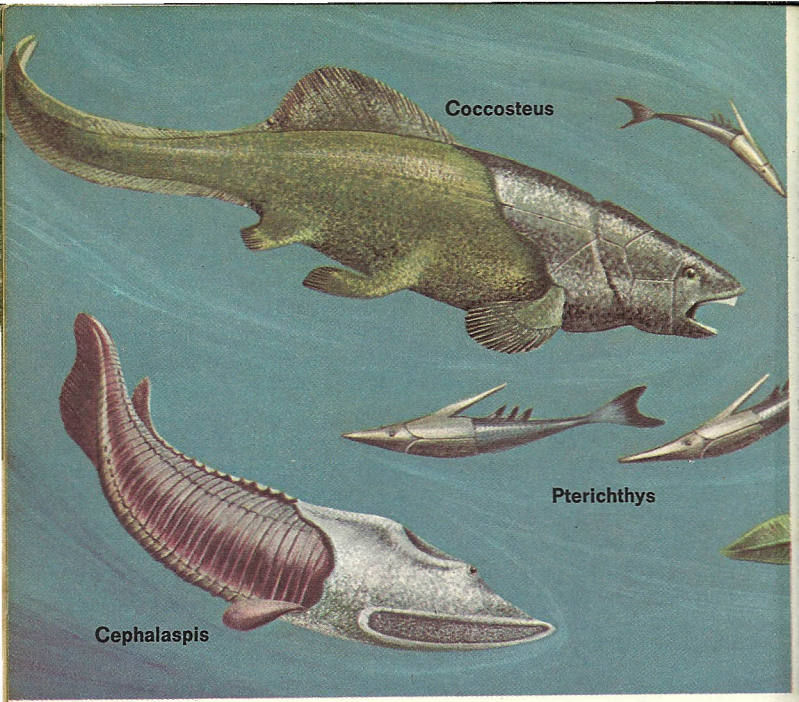
As estruturas que os caracterizam como cordados são um cordão nervoso dorsal e outro ventral, mais curto, além de fendas branquiais e um notocórdio. Também neste caso, a larva é de grande importância. São pequenos organismos, em forma de sino, que são levados pelas correntes marinhas. Em torno da boca, existe um anel de cílios, que se transforma à medida que a larva se desenvolve. A forma larval é chamada de *Tornaria*. Esta larva cordada primitiva se mostra bem semelhante às larvas dos vermes e moluscos, mas somente as de moluscos possuem um anel de cílios único circundando o corpo, na parte anterior da boca. É provável que tenha sido de larvas como estas que se originaram, mais tarde, os vertebrados. Entretanto, é preciso pesquisar melhor por que caminho, e a partir de que grupo de invertebrados, evoluíram os vertebrados. Certos autores afirmam que os artrópodes e os anelídeos é que fornecem esta vinculação por apresentarem um intestino e um cordão nervoso. No entanto, nos artrópodes o intestino é dorsal e o cordão nervoso ventral, de modo que, para produzir a forma característica dos vertebrados, sua organização precisaria ter-se invertido. Ora, a inversão completa de duas estruturas complexas parece improvável. O ponto de vista mais aceito é que os ancestrais mais prováveis dos cordados devem ter sido os equinodermos. Novamente é a larva dos equinodermos que liga os invertebrados, de maneira decisiva, aos cordados inferiores. As larvas dos equinodermos se parecem muito com as larvas dos enteropneustos.

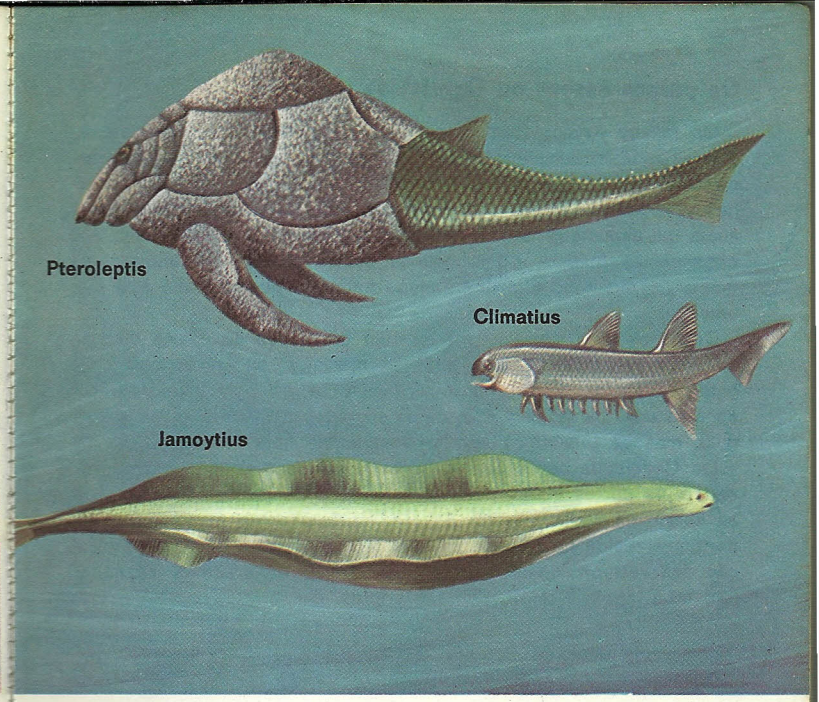
As pesquisas também indicaram semelhanças fisiológicas e anatômicas. As evidências levam a crer num ancestral comum para os equinodermos e os cordados, que provavelmente se extinguiu, e de que nenhuma prova fóssil foi encontrada até agora.

Larva de um equinodermo

Larva do *Balanoglossus*







Os vertebrados mais primitivos

Acredita-se que a evolução de algumas formas larvárias de vertebrados para formas similares às dos peixes, dificilmente deve ter deixado vestígios nas rochas, visto que ambas possuíam, muito provavelmente, corpos moles. Os índices mais primitivos provêm da metade do Período Ordoviciano, e alguns fragmentos de corpos foram descobertos na região do Colorado e na do Wyoming. Existem quatro classes de peixes identificadas atualmente, todas elas apresentando brânquias, pele com escamas e nadadeiras: os Ágnatos, os Placodermos, os Elasmobrânquios e os Teleósteos. Evoluíram todas nos tempos devonianos. Os Ágnatos são os mais primitivos, pois são os únicos com crânio sem mandíbulas verdadeiras e que não possuem nadadeiras emparelhadas. Os peixes se expandiram grandemente no Período Devoniano, e a enorme quantidade de restos fósseis descobertos oferece boa cobertura relativamente aos grupos que evoluíram.

O *Cephalaspis*, exemplo típico dos Ágnatos, era encontrado no Devoniano. Como a maioria dos desse gênero, apresenta um achatado escudo craniano ósseo e corpo revestido de escamas.

O grupo parece incluir espécies marinhas e de água doce. Todas elas provavelmente viviam na lama do fundo dos rios ou dos mares. O *Jamoytius* tem a forma de um torpedo e dispõe de grandes olhos, além de nadadeiras laterais na parte média do corpo. Considerado superficialmente, não é muito diferente do anfioxo.

Os Placodermos se extinguiram no Siluriano Superior, mas chegaram a desenvolver mandíbulas verdadeiras e nadadeiras emparelhadas, e evoluíram para diversas variedades de formas. O desenvolvimento de mandíbulas e nadadeiras é de extrema importância, representando um marco na evolução de todo o reino vertebrado, e não apenas do filo dos peixes. Até o aparecimento das mandíbulas, os animais encontravam-se limitados à vida rente à lama, mas, com as mandíbulas, tornou-se viável não só um novo tipo de alimentação, como também o acesso a outros ambientes aquáticos. Sem nadadeiras ósseas, os animais nunca poderiam ter trocado a vida aquática pela terrestre.

Os Placodermos se originaram provavelmente dos Ágnatos primitivos e, apesar de todo o grupo ter significado um avanço na evolução dos vertebrados, reduziu-se no final do Devoniano e se extinguiu com o término do Paleozóico.

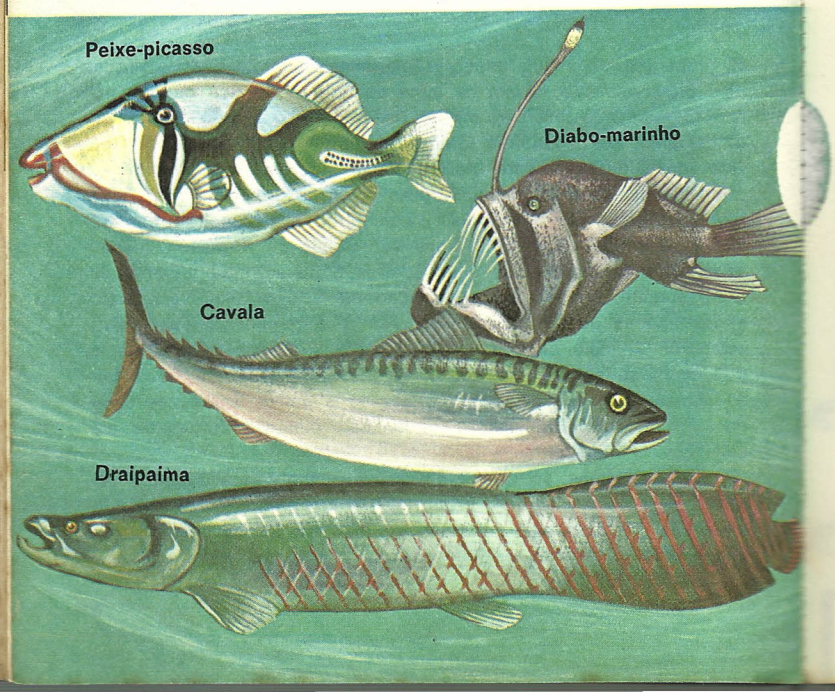
Os peixes ósseos ou Osteíctios

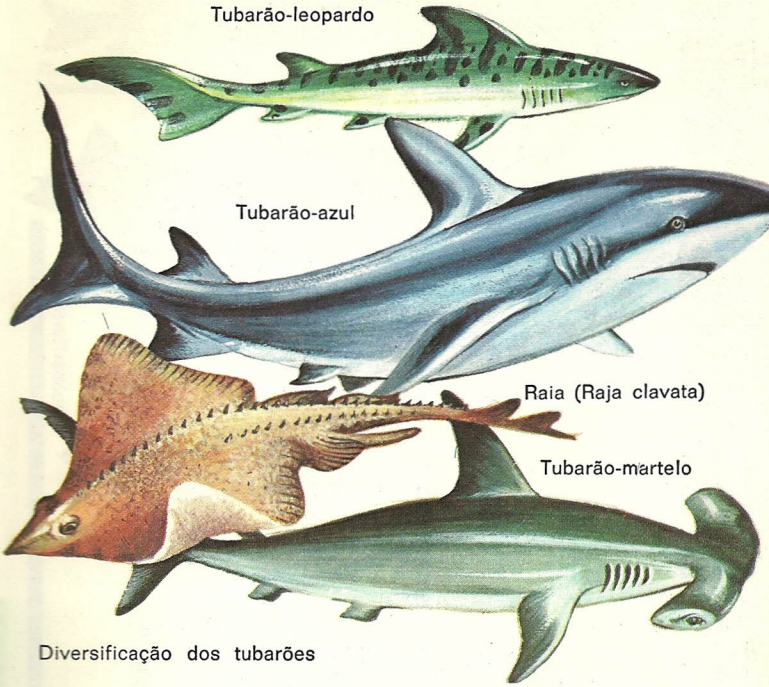
Os peixes ósseos formam o grupo de peixes mais abundantes, diversificado e complexo. Surgiram por volta da metade do Período Devoniano e se expandiram muito durante o Paleozóico, mas nessa época unicamente em lagos de água doce e nos rios. Possuem um esqueleto ósseo e seu corpo é revestido de escamas. Alguns peixes fósseis e uns poucos peixes atuais apresentam pulmões; os restantes têm uma bexiga natatória que controla sua flutuação.

Desde o início, parecem ter existido dois tipos de peixes ósseos distintos. O primeiro deles, os actinopterígios, ou peixes com barbatanas raiadas, cujas quatro ordens são: os paleoniscídeos, os condrósteos, os holósteos e os teleósteos. A maioria já se extinguiu, mas os teleósteos são predominantes hoje em dia.

Os Coaníctios constituem a segunda pequena divisão e compreendem os peixes que aspiram o ar através de narinas internas que se abrem na boca. Existem poucos representantes atuais, cuja importância reside no fato de sua existência traçar o curso da evolução dos vertebrados terrestres. Suas duas ordens são os Dipneustos, ou Dipnóicos, e os Crossopterígios.

Peixes primitivos do Período Devoniano





Diversificação dos tubarões

Os peixes cartilaginosos ou Condríctios

Os tubarões, as raias e as quimeras pertencem à classe dos *Condríctios*. São peixes cartilaginosos, predatórios e usualmente vigorosos nadadores. Dependem mais de suas grandes narinas para seguir suas presas, do que de seus olhos, que são muito pequenos. Os tubarões surgiram no Devoniano e sofreram uma diversificação considerável, estando adaptados a todo tipo de habitat no Paleozóico Superior Muitos se extinguiram no término do Permiano; entretanto, cerca de 600 espécies foram bem sucedidas e na atualidade estão amplamente distribuídas nos oceanos do mundo. Os registros fósseis indicam que os representantes primitivos eram notavelmente semelhantes às espécies de nossos dias. *O Cladoselache*, um conhecido peixe fóssil do Devoniano Superior de Ohio, media cerca de 90 cm de comprimento e possuía largas barbatanas bem desenvolvidas, assim como corpo liso e fusado.

Cretáceo — Recente

Triássico Jurássico

Carbonífero Permiano

Devoniano

Condrictios Peixes cartilaginosos

Tubarão-tigre

Raia-estrelada

Peixe-coelho

Raias

Tubarões

Quimeriformes

Hybodus

Pleuracanthus

Cladoselache

Coccosteus

Bothriolepsis

Anglaspio

Ostracodermos

Osteíctios — nadadeiras raiadas

Carpa escamosa

Peixe-agulha

Celacanto

Esturjão

Teleósteos

Holósteos

Condrósteos

Peixe pulmonado

Lepipotus

Dipnóicos

Celacantos

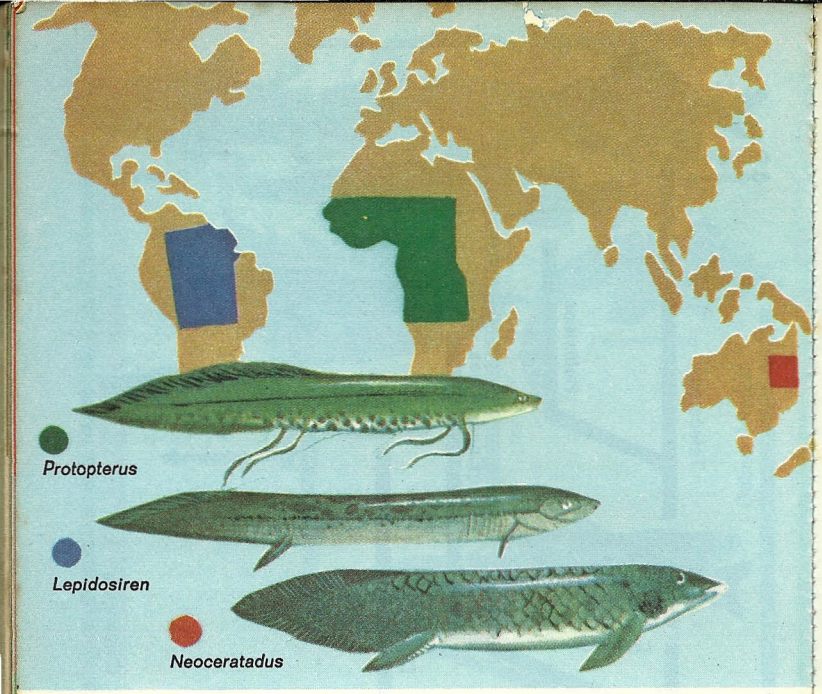
Cheirolepsis

Pipterus

Placodermos

Para Anfíbios

Eusthenopteron



Distribuição dos peixes pulmonados (dipnóicos)

Os peixes pulmonados ou Dipnóicos

Sobrevivem nos trópicos apenas três gêneros de peixes pulmonados: o *Neoceratadus*, no Rio Burnett, de Queensland, na Austrália; o *Protopterus*, no Rio Nilo Branco, em alguns grandes lagos e na região do Congo, na Africa; e o *Lepidosiren* nos rios Amazonas e Paraná, na América do Sul.

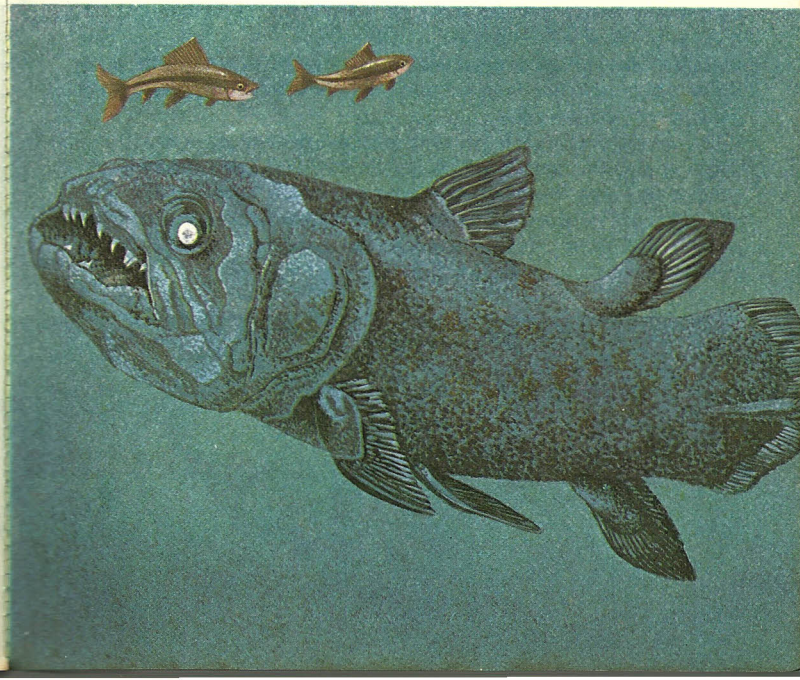
Os peixes pulmonados possuem certas características que ofereceram a alguns de seus representantes em evolução a possibilidade de emergirem da água e se tornarem vertebrados terrestres. O período evolucionário crítico ocorreu em pântanos estagnados e lagos em vias de secar, onde as águas tinham baixo teor de oxigênio e eram sujeitas a periódicas evaporações. Os peixes dipnóicos, dotados de estruturas, eram capazes de absorver oxigênio diretamente do ar atmosférico. As primitivas formas dos peixes pulmonados podem muito bem ter-se ramificado para dar origem aos anfíbios; de fato, as larvas do *Lepidosiren* e do *Protopterus* apresentam similaridades com as dos anfíbios, por possuírem ventosas e brânquias externas.

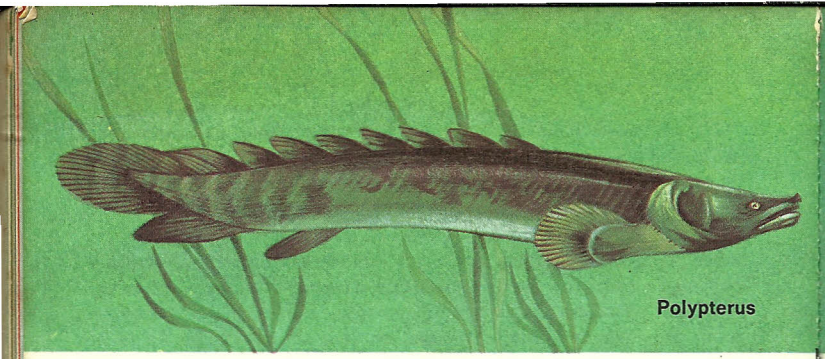
O celacanto

Os crossopterígios pertencem a um grupo que se tornou raro no Carbonífero, e que aparentemente desapareceu após o Permiano. Os conhecimentos a respeito destes peixes de nadadeiras lobadas eram limitados, visto que nenhum membro parecia ter sobrevivido. A partir dos fósseis, tornou-se evidente que possuíam pulmões e narinas internas, e tinham esqueleto que se assemelhava, sob quase todos os aspectos, ao dos anfíbios primitivos. Estes peixes não possuíam patas; evidentemente, porém, suas nadadeiras eram providas de lobos carnudos, no interior dos quais havia suportes esqueléticos ósseos. Assim, seu modelo básico é comparável ao dos mamíferos terrestres. Os exemplares típicos viveram em áreas de água doce e nelas se extinguiram muito cedo. Não se tem conhecimento de fósseis posteriores, e assim se presumia que os crossopterígios eram totalmente extintos.

Entretanto, a surpreendente descoberta, em 1939, de um celacanto nas águas próximas de East London, África do Sul, provou que esses peixes primitivos sobreviveram por mais de 70 milhões de anos, relativamente inalterados. Posteriormente, pescaram-se vários outros espécimes, de modo que se tornou possível um conhecimento maior a respeito do celacanto.

O celacanto, um «fóssil vivo»



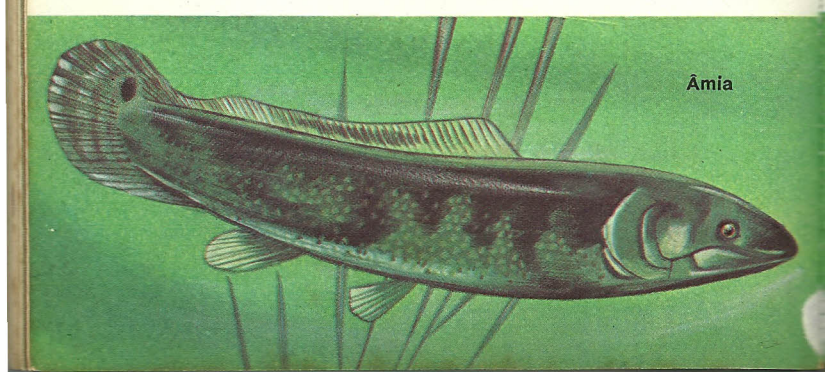


Polypterus

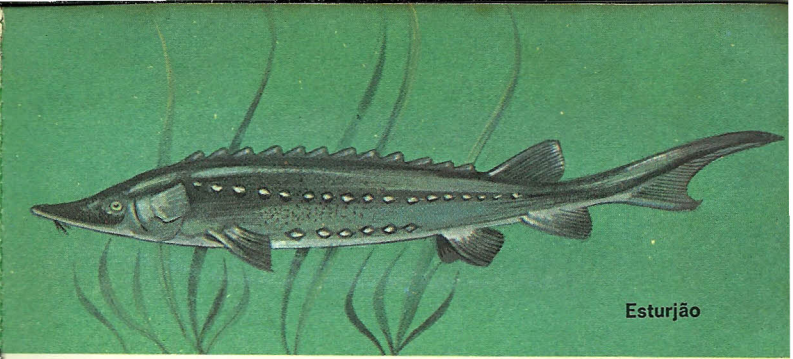
Os Actinopterígios — Peixes providos de nadadeira raiada

As nadadeiras dos Actinopterígios são constituídas de uma camada de pele sustentada unicamente por meio de raios córneos. Só há carne e ossos na base das nadadeiras. Muitas diferenças pronunciadas distinguem este grupo dos Coaníctios, como a estrutura das escamas, os diversos padrões de ossos cranianos e a ausência de narinas internas. Os olhos são geralmente grandes e parecem ser o mais importante órgão dos sentidos, tendo o olfato um papel secundário. O pulmão é transformado em órgão hidrostático, a bexiga natatória. O número de ovos, em cada postura, é bem mais elevado que em qualquer outro grupo, e embora pequenos, se contam aos milhares, e até milhões, os postos por uma única fêmea. Vigora o princípio da quantidade, e não o da qualidade. Assim, apesar de que muitos morrem cedo, o número total é rapidamente renovado.

Os paleoniscídios são os mais antigos peixes providos de nadadeiras raiadas, pois surgiram por volta da metade do Devoniano. Nessa época, eram altamente superados em número pelos peixes pulmonados e pelos providos de nadadeiras lobadas. O *Polypterus* e o *Calamoichthyes*, dois peixes africanos, representam os primitivos peixes de nadadeiras raiadas.



Âmia



Esturjão

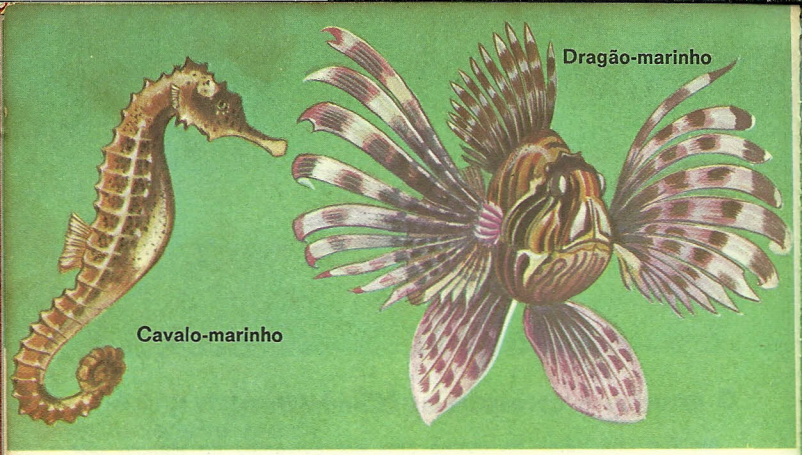
O esturjão e as espátulas (Condrósteos)

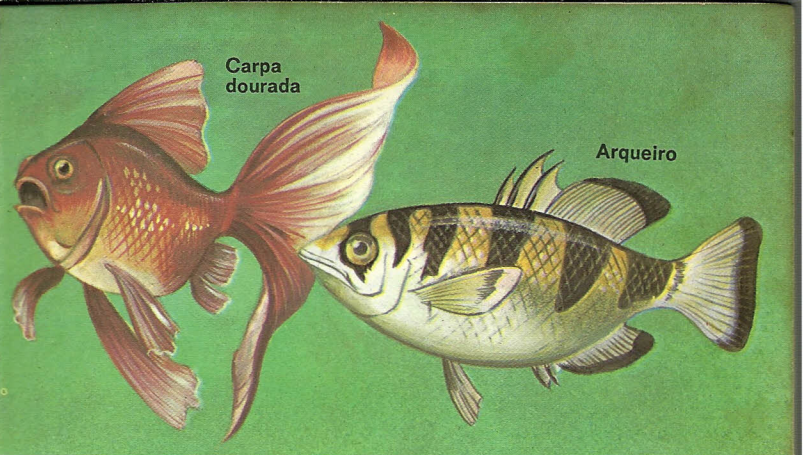
No Rio Mississípi, há outros dois sobreviventes do estágio primitivo da evolução dos Actinopterígios. O esturjão e a espátula são mais avançados, pois têm uma bexiga natatória típica, e não pulmões. No entanto, as nadadeiras são mais primitivas que as do *Polypterus*. A nadadeira caudal se assemelha à do tubarão, e as escamas degeneraram até o ponto de só serem encontradas em fileiras ao longo do corpo, separadas por uma pele coriácea. Com suas débeis mandíbulas, bocas pequenas e focinhos alongados, procuram alimento na lama.

As âmias e os peixes-agulhas (Holósteos)

Os holósteos surgiram nos tempos permianos a partir dos paleoniscídios, que substituíram quase totalmente. Seu corpo é escuro e termina em cauda mais evoluída, com nadadeiras homocercas simétricas. Os únicos sobreviventes se encontram nos Grandes Lagos da América do Norte e são muito bem sucedidos, apesar da competição com os peixes ósseos mais evoluídos. A âmia *(Amia calva)*, ou tubarão de água doce, e o peixe-agulha *(Lepisosteus)* são acentuadamente diferentes entre si, quanto ao aspecto externo.

Peixe-agulha





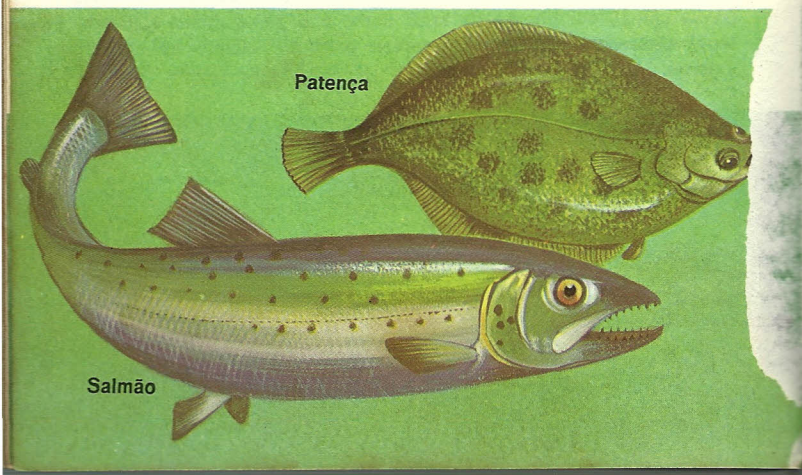
Os Teleósteos dominantes da atualidade

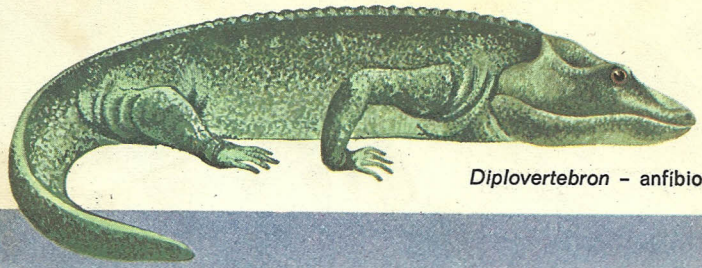
Surgidos no final do Triássico, a partir dos Holósteos, os Teleósteos foram comparativamente raros até o Cretáceo, quando deles derivaram várias linhas evolutivas. Hoje em dia, a diversificação do grupo é ilustrada pelas 20.000 espécies, aproximadamente, de peixes ósseos, difundidos nos mares, rios e lagos.

O plano da evolução dos Teleósteos permitiu o desenvolvimento de uma extensa faixa de especializações, adaptando os peixes a todos os tipos de situações no mar e na água doce. É bem verdade que a composição dos mares e da água doce permaneceu relativamente inalterada durante o curso da evolução dos peixes. Podemos nos perguntar, então, que necessidade tiveram os peixes de evoluir para novas formas, afim de se adaptarem a ambientes só em aparência «novos».

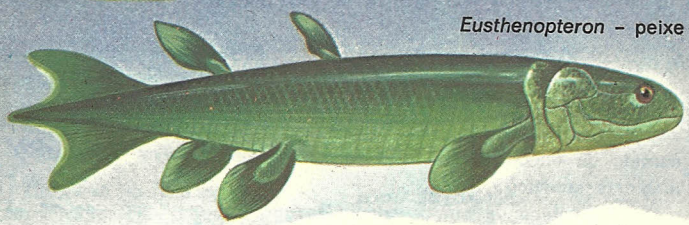
Num certo sentido, pode-se afirmar que os peixes não evoluíram buscando adaptar-se a novos ambientes, mas que o fizeram no sentido de encontrar inúmeras formas novas de viver no mesmo ambiente aquático.

Os Teleósteos variam pronunciadamente em cada um dos seus aspectos. A forma do corpo e a organização geral mais primitivas são encontradas no arenque e na sardinha, enquanto que a truta e o salmão apresentam formas levemente mais avançadas. Os primeiros possuem nadadeiras raiadas mais numerosas e flexíveis que os últimos, nos quais as nadadeiras são sustentadas apenas por umas poucas espinhas sólidas e móveis. As formas do corpo são tão variadas que, em certas comparações, parece que os peixes em questão não podem ser relacionados. Os peixes achatados como a patença, a solha e o linguado, desenvolveram formas perfeitamente adaptadas para uma vida no fundo do mar, ou dos rios. Todos eles têm corpo muito achatado e, durante seu desenvolvimento, o filhote sofre uma rotação de 90º, de modo que o olho situado na posição inferior migra para a nova superfície superior.





Diplovertebron – anfíbio



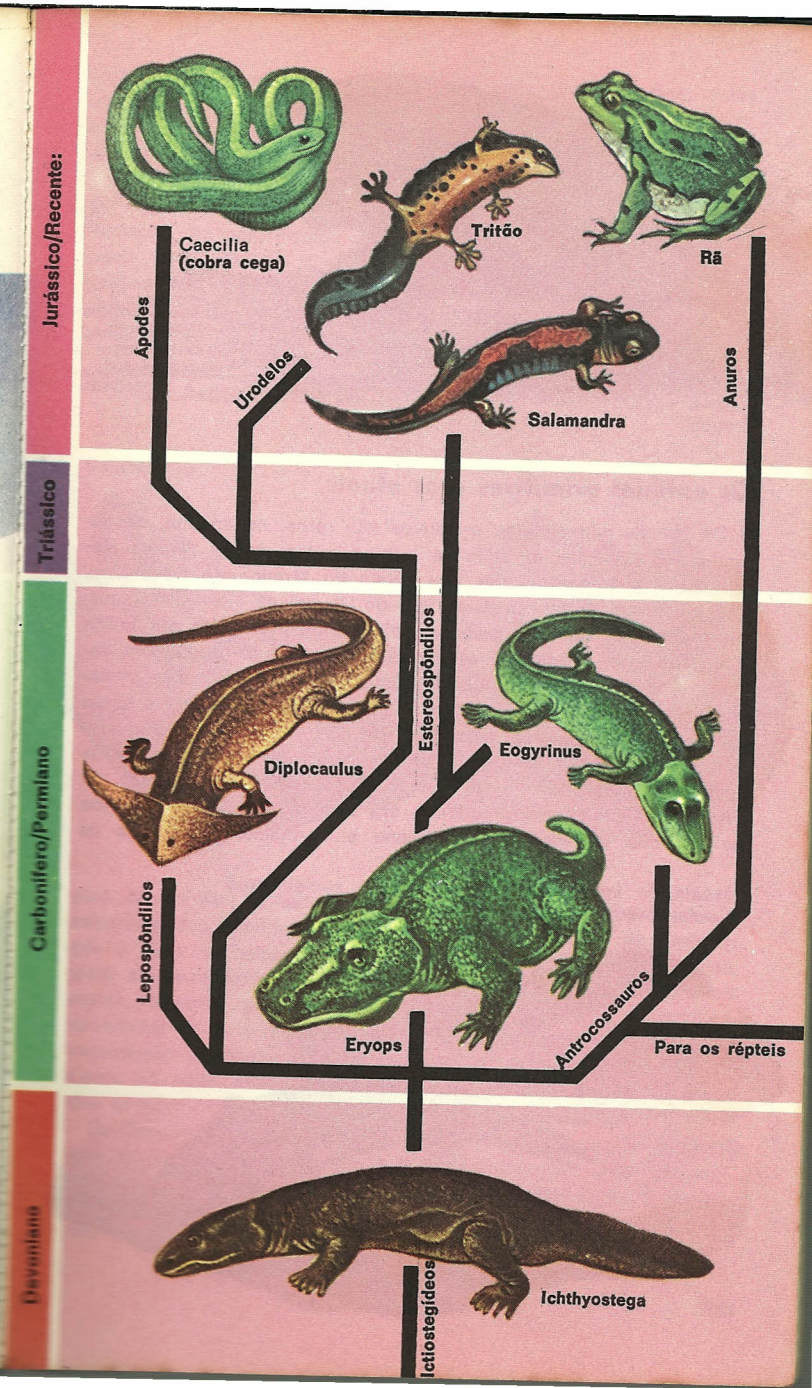
Eusthenopteron – peixe

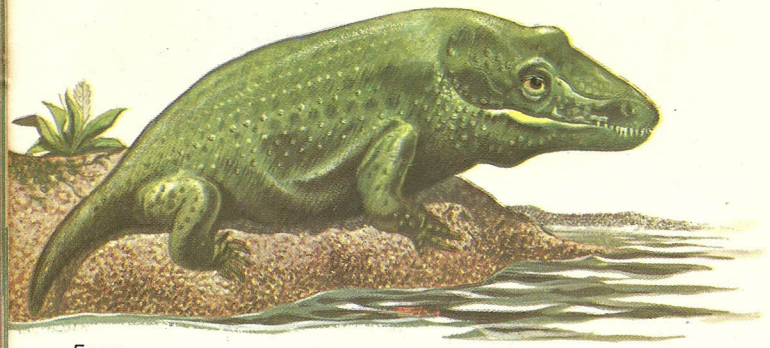
A evolução dos anfíbios (pág. 99)

A conquista da Terra

A passagem da vida aquática para a terrestre por parte de certos vertebrados, iniciou-se no Devoniano com os anfíbios primitivos e completou-se com os répteis no Paleozóico tardio. Mais uma vez não se tratou de processo rápido, mas de uma lenta progressão através das diversas fases evolutivas. Alguns peixes ósseos desenvolveram características essenciais à vida terrestre, como, por exemplo, pulmões primitivos. Além disso, a vida ativa sobre a terra requer de qualquer vertebrado que este tenha uma boa sustentação para seu corpo. Nos peixes de nadadeiras lobadas (como, por exemplo, o *Eusthenopteron*), os lobos sólidos e carnudos das nadadeiras pares possibilitaram o desenvolvimento de membros terrestres. Logo, os fundamentos necessários à vida terrestre já se haviam iniciado nos peixes ósseos.

Ao comparar os crânios dos anfíbios primitivos com os dos peixes Crossopterígios do Período Devoniano, não resta dúvida sobre a relação entre os anfíbios e os seus ancestrais peixes. No entanto, ainda não foram descobertos os fósseis dos elementos intermediários. Alguns aspectos da transição são revelados pelos mais antigos dos fósseis anfíbios, os ictiostegídeos do Devoniano Superior do Leste da Groenlândia, em que se observam características intermediárias entre os Crossopterígios e os anfíbios primitivos típicos.



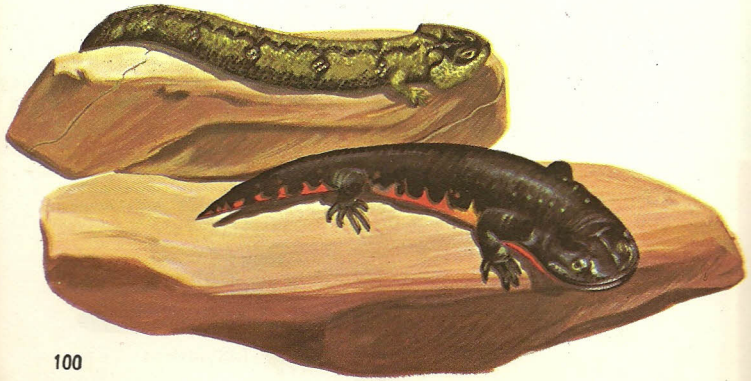


Eryops

Os anfíbios primitivos e os atuais

Os fósseis dos anfíbios primitivos são raros; no entanto, descobriu-se na Groenlândia, além de crânios, outras partes de esqueletos muito bem conservadas que datam do término do Devoniano. Esses anfíbios, pertencentes ao Período Devoniano e ao Mississipiano, dotados de cabeças grandes, solidamente protegidas por ossos espessos, são estegocefálicos, e têm pouca semelhança com sapos e salamandras. Os anfíbios foram os animais de maior predominância no Período Pennsilvânio. Possuíam patas fortes e eram capazes de se locomover tanto em terra como na água. Os antracossáurios foram os gigantes das águas. Eram dotados de membros reduzidos, mas tinham, em compensação, caudas poderosas. O *Eryops*, um grande labirintodonte, era encontrado em lagos e rios no fim dos períodos Pennsilvaniano e Permiano. Apesar de os

Fósseis de larvas de branquiossauros semelhantes à salamandra



répteis estarem-se tornando cada vez mais predominantes, estes enormes anfíbios eram perfeitamente capazes de competir com eles. Alguns desenvolveram couraça de modo que podiam abandonar as águas sem temer a desidratação.

As formas dos anfíbios que conhecemos hoje em dia, sapos, lagartixas e salamandras, só evoluíram após o Jurássico. As salamandras são semelhantes aos tipos primitivos quanto ao seu aspecto geral, mas no que se refere ao crânio e esqueleto, muitas das configurações antigas desapareceram. Sua pele úmida, desprovida de escamas, age como órgão acessório da respiração e para evitar o ressecamento, elas devem permanecer em regiões úmidas.

Os sapos, que são desprovidos de cauda, formam um grupo florescente. Apesar de serem freqüentemente tomados como exem-

Salamandra rã

plos de anfíbios primitivos, situam-se entre os vertebrados mais especializados, devido principalmente ao seu método de locomoção à base de saltos. São bem adaptados para a movimentação tanto em terra como na água, e conseguem respirar em ambos os meios, contanto que se mantenham em áreas úmidas, quando se encontram na terra. Por outro lado, dependem da água para a sua reprodução e passam os meses frios de inverno em hibernação. Como se pode observar, os sapos são exemplo ilustrativo tanto dos avanços, como das limitações da vida dos anfíbios.

Os ápodes, ou anfíbios desprovidos de membros, são animais que aparecem pouco. Passam sua vida entocados, como os vermes encontrados nos trópicos. Sua história fóssil ainda é desconhecida, porém, sabe-se que constituem um grupo degenerado e não muito relacionado às outras ordens.

Seymouria

Os répteis

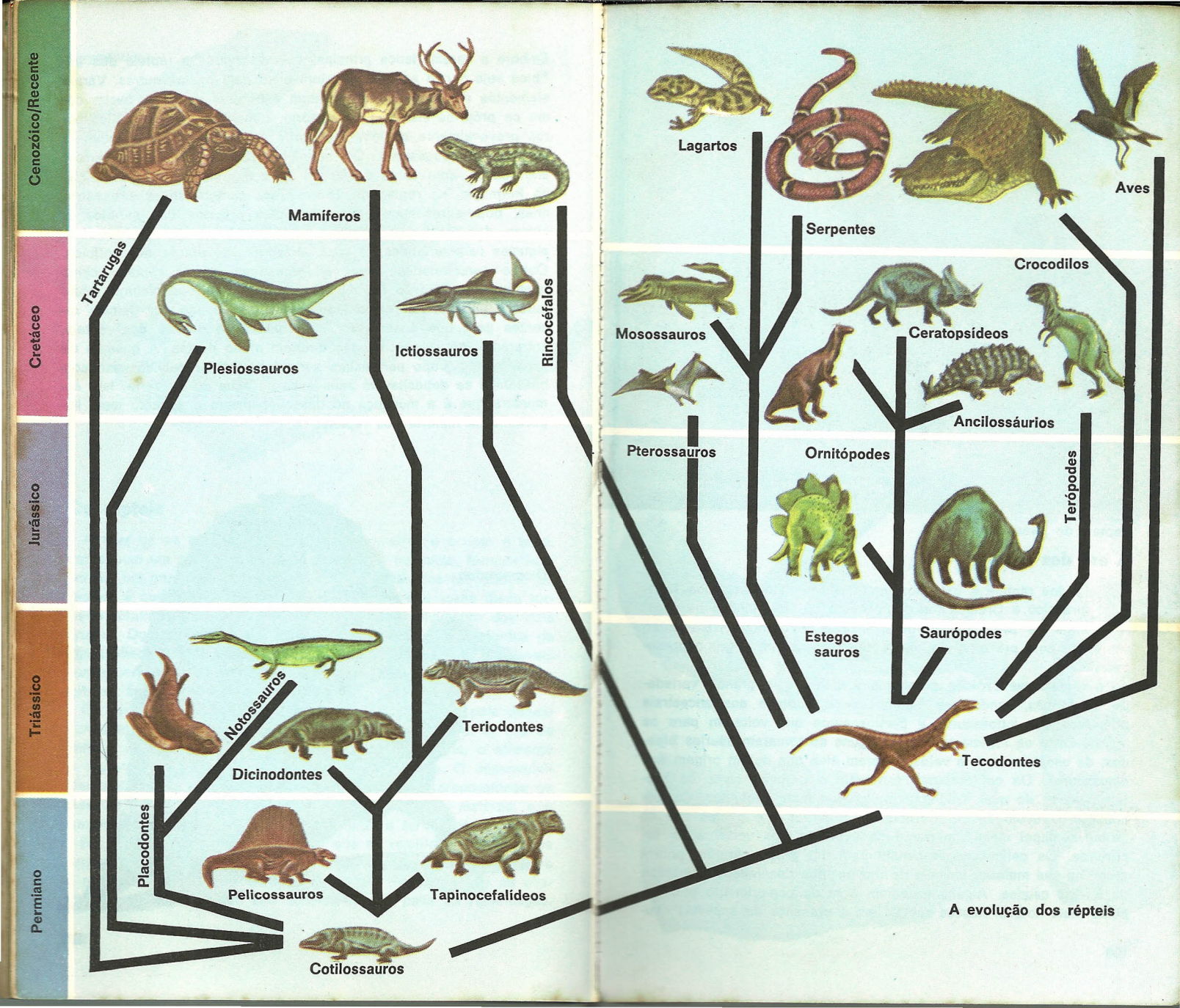
Apesar de os anfíbios terem sido os primeiros a ocupar a terra, constituem um grupo malogrado. Numerosos no início, formam hoje em dia um grupo insignificante entre os vertebrados tetrápodes. Os répteis é que realmente conquistaram a terra e a razão disso torna-se totalmente clara ao se estudar o desenvolvimento dos dois grupos. Durante toda a sua vida, os anfíbios são dependentes da água; põem sempre seus ovos na água e as formas adultas devem conseqüentemente retornar ao meio aquático periodicamente (exceto os ápodes especializados).

Os répteis não necessitam de um estágio na água, pois desenvolveram um tipo de ovo que pode ser posto na terra. O ovo de anfíbio, ao se desenvolver na água, retira o oxigênio, o alimento e a proteção necessários do próprio meio aquático. O desenvolvimento do novo tipo de ovo dos répteis (amniota) proporcionou os mesmos benefícios em terra ou no interior do corpo materno, e o surgimento de órgãos copuladores permitiu a fertilização interna.

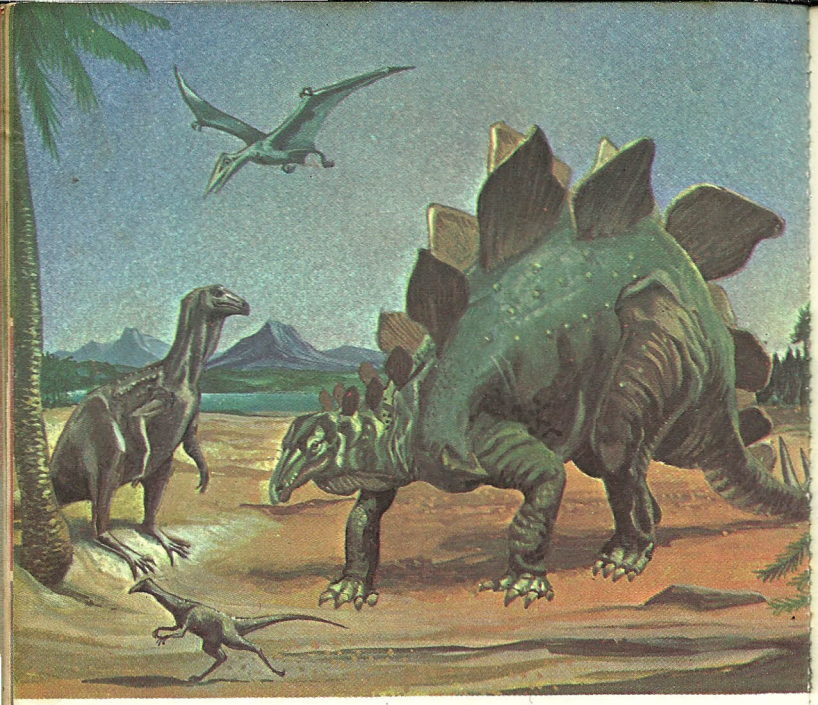
Foi a partir dos primitivos répteis que se ramificaram numerosas espécies, sendo que dois ramos produziram eventualmente as aves e mamíferos de sangue quente. Os répteis primitivos são os chamados cotilossauros que são considerados a base da ramificação.

Embora a característica principal que distingue os répteis dos anfíbios seja o ovo amniota, existem além dela muitas outras. Vários elementos do esqueleto apresentam estruturas diversas, assim como os próprios sistemas circulatório e respiratório. Os cotilossauros provavelmente evoluíram a partir dos seimuriídeos, família de anfíbios antracossauros. Os seimúrias *(Seymouria)* eram animais atarracados, com cerca de 60 cm de comprimento, da fase inicial do Permiano, na região do Texas. Suas características são estranhas, pois apresentam alguns aspectos próprios dos anfíbios, e outros, dos répteis. A estrutura de seu crânio, de seus dentes e algumas características de suas vértebras são típicas dos anfíbios. Outras características das vértebras lembram os rèpteis, como também a suspensão mandibular e a estrutura das cinturas escapular e pélvica. Por outro lado, os seimúrias são por demais recentes para que possam ter sido ancestrais diretos dos répteis, entretanto, provavelmente não diferiam muito destes. A questão de saber a que grupo pertenciam seria facilmente resolvida caso soubéssemos se depositavam seus ovos na água ou em terra. Isto demonstra que é a mudança no desenvolvimento o aspecto mais importante na história dos répteis.

Diometrodon



A evolução dos répteis



Répteis do Jurássico

A era dos répteis

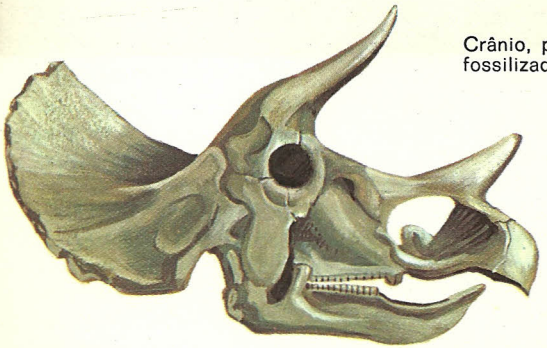
A era dos répteis é o Mesozóico, formado pelos períodos Triássico, Jurássico e Cretáceo, e durou cerca de 165 milhões de anos. Apesar de as aves, mamíferos e insetos modernos terem então aparecido pela primeira vez, os répteis constituíam o grupo predominante.

Os répteis mesozóicos primitivos incluíam uma grande variedade de formas, sendo que algumas deram origem aos ancestrais primitivos dos ictiossauros e plesiossauros que voltaram para os mares. Entre os répteis terrestres alguns se tornaram sáurios bípedes, de ossatura leve, e velozes; foram eles que deram origem aos dinossauros. Os cotilossauros formaram o primeiro ramo de répteis a partir do qual irradiaram os grupos mais evoluídos. Os pelicossauros evoluíram no Carbonífero Superior e é a eles que se atribui o papel mais importante na evolução dos vertebrados superiores. Os pelicossauros constituíram um grupo variado, porém eram, na sua maioria, animais de movimentos desajeitados, dotados de longás caudas. Alguns excediam 3 m de comprimento e o aspecto mais notável nesses répteis era a presença de espinhas neurais extremamente alongadas, situadas no seu dorso, e que parecem ter sido recobertas por pele para formar uma estrutura semelhante a uma vela. O *Dimetrodon* tinha cerca de 3,30 m e era um ativo predador, dotado de uma grande cabeça alongada e de dentes diferenciados. Sua barbatana em forma de vela media cerca de 0,90 m de altura, porém a função desta curiosa estrutura continua ainda desconhecida. Pode ter sido relacionada com o controle da temperatura ou ter constituído uma forma de proteção.

Foi a partir dos pelicossauros que os terapsídeos, outro grande grupo de sinapsídeos, se desenvolveram e difundiram no Permiano e no Triássico. Alguns de seus membros são muito semelhantes aos dos mamíferos, seus descendentes.

Os dicinodontes (dotados de dentes caninos) formaram um grupo de grandes vegetarianos com dentes reduzidos, comum e difundido no Permo-Triássico. Os teriodontes (dotados de dentes carnívoros) são mais semelhantes aos mamíferos. O *Cynognathus* é representante típico desses animais.

Os ictidossauros, ou lagartos-doninhas, do Triássico Superior eram animais menores e de características mais próximas às dos mamíferos. Em alguns, a articulação da mandíbula é a típica dos mamíferos.



Crânio, pegadas e ovos fossilizados de dinossauro

Os dinossauros

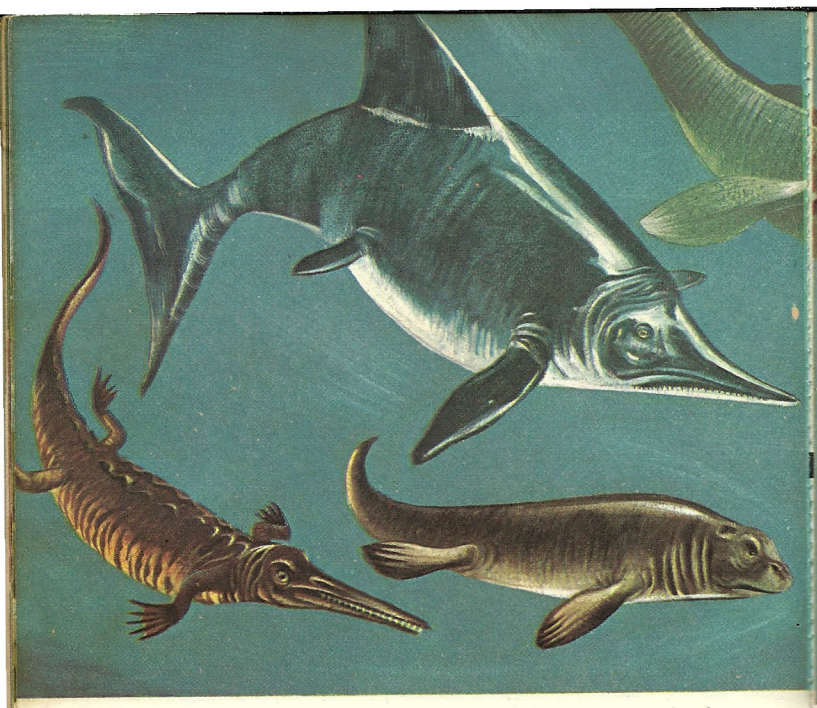
Embora os mamíferos tenham surgido no Cretáceo, ele foi o período dos enormes dinossauros. A noção popular a respeito dos dinossauros considera um único grupo de répteis gigantescos. De fato, muitos chegavam a pesar 50 toneladas, mas alguns não passavam do tamanho de galinhas. Não constituíam um único grupo, mas duas ordens distintas em que se dividiu o grupo original. Os indivíduos mais antigos de ambas as ordens eram bípedes, mas muitas formas voltavam a ser tetrápodes.

Os membros da ordem *Saurischia* são identificados por sua cintura pélvica. Os primitivos, como o *Conpscognathus* e os *Ornitholestes*, eram corredores bípedes, pequenos e ativos. A disposição de seus dedos dos pés era semelhante à das aves de poleiro, sendo três anteriores e um posterior. Isto levou a identificações errôneas das pegadas de dinossauros descobertas em rochas triássicas, que foram a princípio confundidas com as pegadas de aves primitivas. No fim do Triássico, esse ramo deu origem aos carnívoros maiores, como o *Tyrannosaurus* que media aproximadamente 15 m de comprimento e 6 m de altura. Eram provavelmente predadores dos dinossauros herbívoros. Entretanto, ambos se extinguiram devido a modificações climáticas, ou pela competição com os mamíferos e aves.

Dinossauros do Cretáceo

Uma das ramificações deste grupo originou algumas formas similares ao avestruz, como o *Struthiomimus* e o *Ornithomimus*, que andavam sobre três dedos e com as patas dianteiras igualmente providas de três dedos. Não possuíam dentes, mas um bico córneo e provavelmente se alimentavam de ovos. Um outro ramo originou os grandes herbívoros quadrúpedes sendo o *Brontosaurus*, o *Diplodocus* e o *Brachiosaurus* os maiores de todos os animais terrestres. O *Brachiosaurus* dos sedimentos da América do Norte e da África Ocidental, era um verdadeiro gigante dotado de uma cauda extremamente reduzida e que alcançava cerca de 24 m de comprimento, pesando quase 50 toneladas.

Na ordem dos *Ornithischia* se incluem os dinossauros com bico de pato, freqüentemente providos de dois mil dentes. A maioria apresentava formações que eram verdadeiras armas, como o *Stegosaurus*, com espinhos dorsais. O *Triceratops*, por sua vez, possuía enormes cornos e formações ósseas em torno da cabeça.



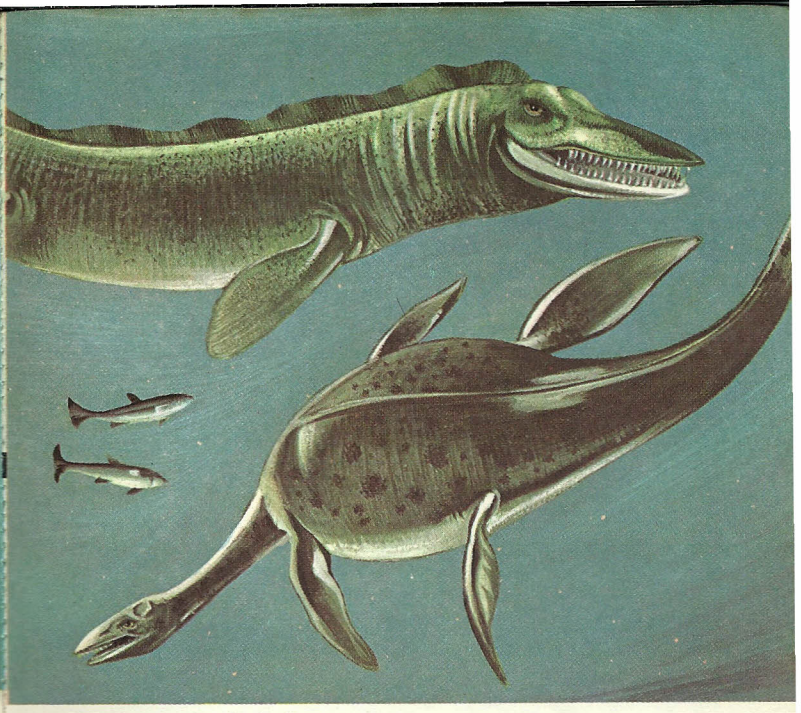
Os répteis marinhos

Os répteis foram o primeiro grupo a se estabelecer firmemente em terra, mas alguns deles evoluíram para formas que retornaram aos mares. Quando um determinado grupo está bem estabelecido num habitat, freqüentemente se espalha também por outros ambientes.

Os répteis que voltaram para o mar, se adaptaram à vida aquática e se diversificaram tanto quanto os répteis terrestres. Identificaram-se seis grupos.

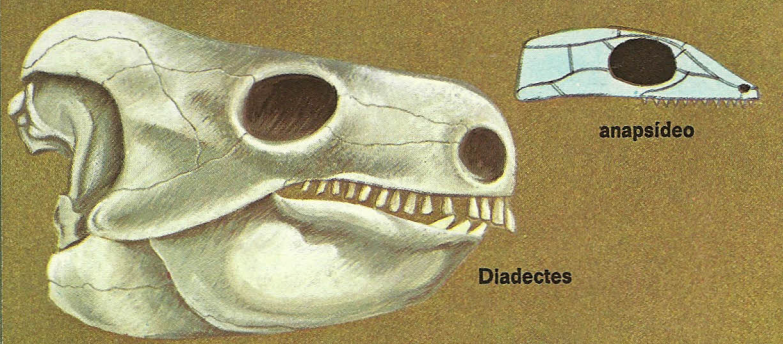
As tartarugas marinhas apareceram no Triássico e sofreram poucas modificações desde então. Parecem ter evoluído a partir de um réptil semelhante ao *Eunotosaurus*. Quanto às terrestres, não evoluíram antes do Terciário, e surgiram delas as tartarugas de água doce e variedades de tartarugas marinhas. No Cretáceo, algumas tartarugas marinhas chegaram a alcançar 3,60 m de comprimento.

Os ictiossauros, ou peixes répteis, assim chamados devido a sua marcante semelhança com os peixes, foram altamente adaptados à vida aquática. Seus membros eram consideravelmente modificados e, por isso, não podiam ir à terra para se reproduzir. Pensa-se que as fêmeas de ictiossauros retinham seus ovos no interior do corpo até à eclosão, como fazem certas serpentes e lagartos. Jovens ictiossauros foram vistos dentro do corpo de um espécime adulto; parece que nadavam à maneira dos peixes, utilizando a cauda como principal meio de propulsão. Os fósseis mais antigos datam da metade do Triássico e foram encontrados até o final do Cretáceo.



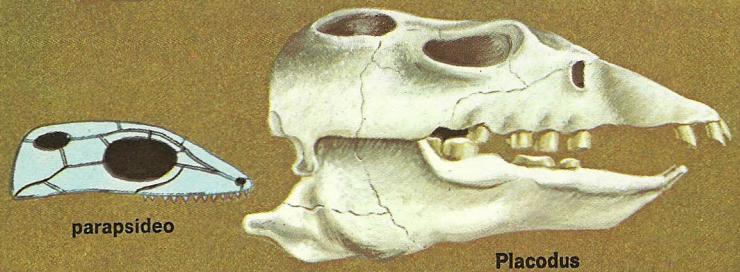
Fauna marinha do Jurássico

Os répteis mais selvagens foram os mosassauros e os geossauros. Os primeiros parecem ter-se restringido ao Cretáceo; alguns chegavam a medir cerca de 9 m de comprimento. Os últimos eram crocodilos marinhos do Jurássico e Cretáceo Inferior. Os notossauros, placodontes e plesiossauros, que eram intimamente aparentados, tinham membros semelhantes a remos. Os plesiossauros primitivos, como o *Lariosaurus* do Triássico, mediam cerca de 90 cm de comprimento, mas no Jurássico e no Cretáceo eram numerosos, e alguns alcançavam 15 m de comprimento. Suas mandíbulas, altamente modificadas, eram providas de dentes afiados para triturar os mariscos.



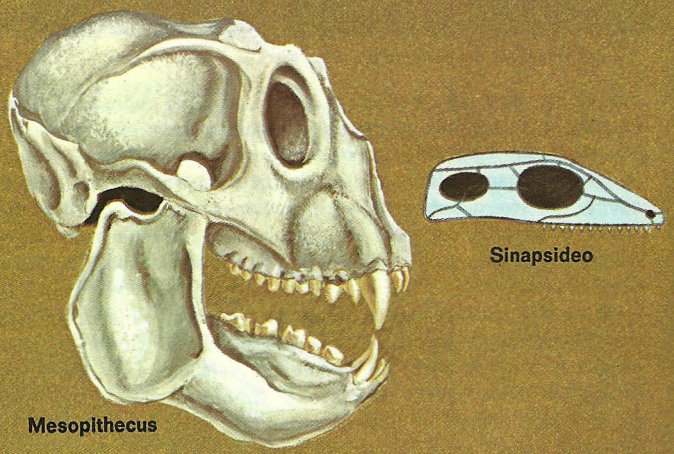
anapsídeo

Diadectes



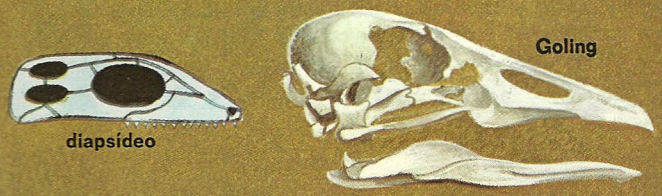
parapsídeo

Placodus



Sinapsideo

Mesopithecus



Goling

diapsídeo

Evolução da estrutura craniana dos répteis

Uma das características mais importantes nos répteis é a evolução da região temporal de seus crânios. A estrutura desta região anatômica permitiu que se identificassem quatro grupos principais, e que se estabelecessem, graças a minuciosas pesquisas, as relações entre os grupos. Apesar disso, embora as aberturas temporais ilustrem certas tendências evolutivas, alguns zoólogos consideram errônea esta classificação.

Os répteis mais primitivos, os cotilossauros, possuíam uma abertura óssea total na região temporal – ou seja, tinham crânio do tipo *anapsídeo*. As tartarugas marinhas, *(Chelonia)*, apresentam disposição semelhante, conquanto os ossos cranianos posteriores sejam menores.

Foi provavelmente a partir deste tipo de crânio anapsídeo que evoluíram dois tipos principais. O grupo *sinapsídeo* apresenta uma única abertura (ou fossa) de cada lado, limitada superiormente pelos ossos esquamosal e pós-orbital e, inferiormente, pelos ossos esquamosal e zigomático. Os répteis dotados deste tipo de crânio constituíram o ramo evolutivo que posteriormente conduziu aos mamíferos. O crânio foi modificado por uma redução nos ossos e por sua disposição.

A outra modificação da condição anapsídea primitiva originou o crânio diapsídeo. Neste, existem duas aberturas na região temporal. É um tipo encontrado em muitos répteis, incluindo os crocodilos, os dinossauros e os pterossauros. Existe certa modificação nos lagartos e cobras. É da forma craniana diapsídea que evoluiu o crânio das aves. Estas perderam o osso pós-orbital de modo que as duas aberturas, a temporal e a orbital, constituem uma única fossa maior.

Em outros grupos, encontra-se apenas uma única abertura além da arcada, lembrando a condição sinapsídea. Entretanto, nestes casos, a abertura se situa superiormente no crânio, rodeada em cima pelo osso parietal, e em baixo pelo osso esquamosal e o pós-orbital. Este tipo de crânio é chamado de *parapsídeo*, e às vezes de *euriapsídeos*, e caracteriza os ictiossauros e os plesiossauros.

Embora a classificação dos répteis, a partir de sua estrutura craniana, seja artificial sob certos aspectos, serve para indicar as linhas evolutivas principais e mostra de que modo as aves e os mamíferos descenderam de alguns tipos dentre eles.

Os crânios de répteis fósseis revelam as linhas da evolução

Archaeopteryx

A origem do vôo

A atmosfera foi o último ambiente a ser ocupado pelos animais e os répteis desempenharam relevante papel nessa conquista. Os insetos mantiveram o monopólio do vôo por cerca de 100 milhões de anos, mas a partir do Jurássico encontram-se vestígios de répteis voadores. Os pterossauros, ou lagartos alados, apresentavam as três condições necessárias à vida no ar, acima do solo: seu esqueleto era resistente mas leve, possuíam asas e sua visão era aguçada devido ao desenvolvimento que neles haviam atingido os hemisférios cerebrais que controlam a visão e a coordenação muscular. As espécies do Jurássico eram pequenas, dotadas de mandíbulas com dentes e de caudas compridas; entretanto, no Período Cretáceo, suas asas tinham freqüentemente uma envergadura de cerca de 7,50 m, seus bicos pontiagudos eram desprovidos de dentes e muitas vezes mais longos que a própria coluna vertebral. Parecem ter sido muito mais planadores do que propriamente voadores ativos, visto que suas asas eram menos robustas que as das aves e morcegos.

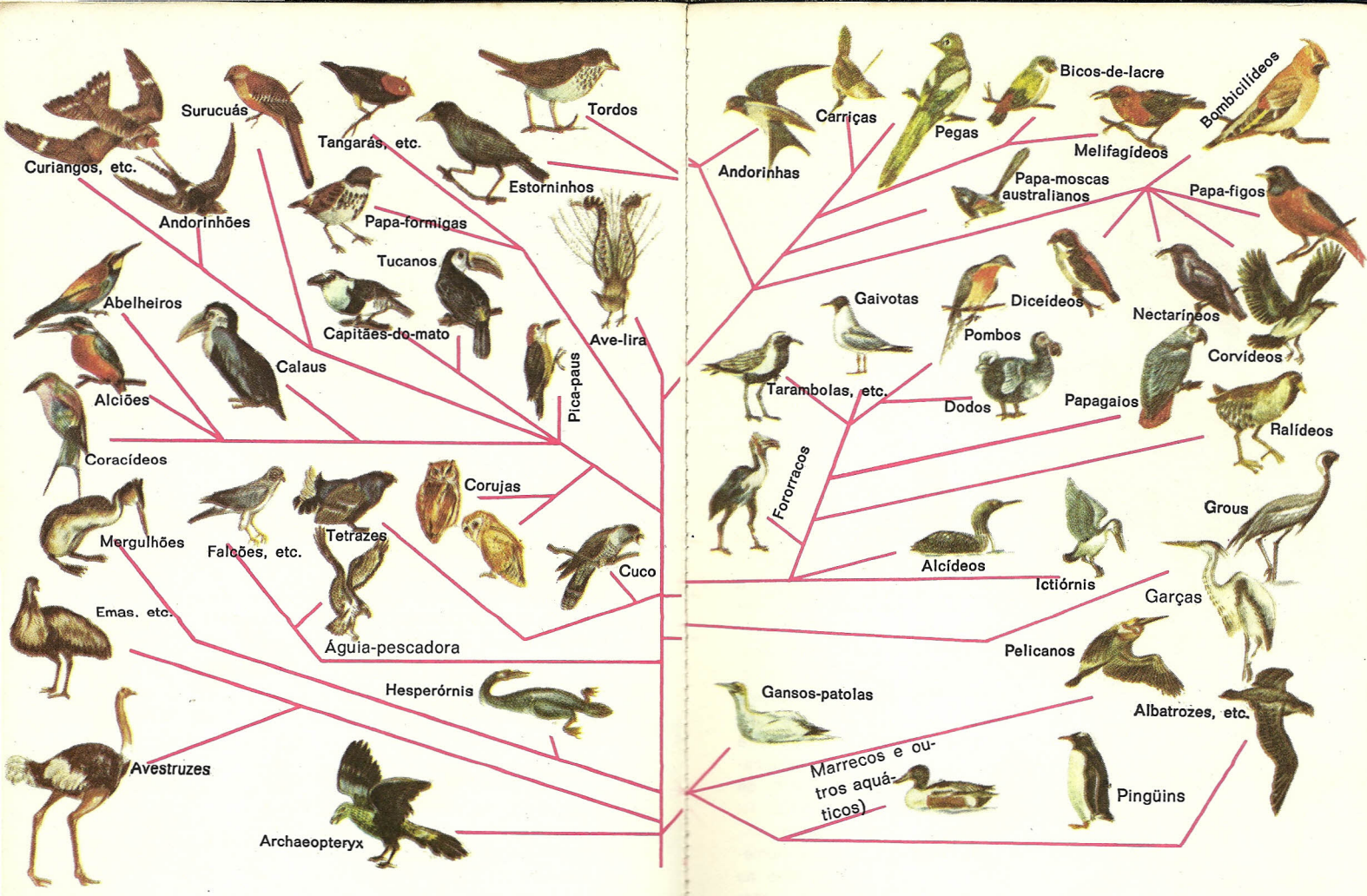
Os pterodáctilos eram mais comuns no Jurássico do que no Cretáceo. Parecem ter tido evolução paralela à das aves, a partir de um grupo tecodonte, no entanto, não há evidências de que seu corpo fosse recoberto de penas, apesar de suas asas serem membranosas.

O segundo grupo resultou nas aves de sangue quente, evoluídas a partir dos arcossauros diapsídeos. Não existe prova detalhada sobre a transformação dos répteis de sangue frio em aves de sangue quente. No entanto, alguns fósseis apresentam sinais indicativos de estágios intermediários. As mais antigas aves conhecidas são o *Archaeopteryx* e o *Archaeornis*, encontradas no Jurássico Superior da Baviera, e mostram vestígios de penas. Além desta, há poucas características que as diferenciem dos dinossauros.

Durante esse tempo, as aves sofreram grandes modificações e os fósseis do Cretáceo são claramente identificados como aves verdadeiras. O *Hesperornis*, nadador não voador, era uma ave desprovida de asas, de linhas hidrodinâmicas, com bico alongado e patas palmadas. Provavelmente costumava mergulhar nas águas à procura de suas presas. O *Ichthyornis*, era um poderoso voador que, ao que tudo indica, se alimentava ao longo das costas ou descia rapidamente até o mar para apanhar peixes à flor da água.

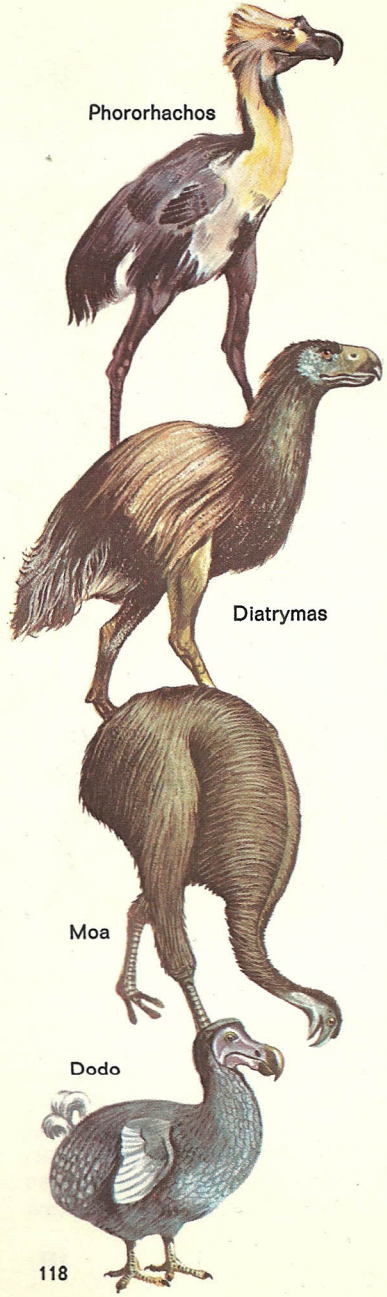
A origem do vôo ainda está sujeita a muita discussão. Uma das linhas de pensamento sugere que os ancestrais das aves viviam nas árvores e o desenvolvimento de asas eliminou as quedas. Os saltos foram sendo substituídos por deslizamentos ou vôo planado. Outra teoria afirma que os ancestrais das aves eram terrestres e que as asas providas de penas, assim como a cauda, se desenvolveram para aumentar a velocidade na corrida sobre a terra até o momento em que eventualmente os animais se elevaram num vôo pleno, batendo as asas.

O enorme mergulhador *Hesperornis*



A diversidade evolutiva das aves

A estrutura básica das aves se modificou a fim de dar origem à grande variedade de aves modernas. Com o auxílio de alguns poucos vestígios fósseis, a direção de mudanças foi estabelecida a partir do estudo das formas atuais. A diversificação se verificou no Período Cenozóico. A ampla variedade de ambientes vai desde os preferidos pelas poderosas aves predadoras, até os dos pingüins, das aves pernaltas das costas e pantanais, e das aves de caça. A menor das aves é uma espécie de beija-flor minúsculo, que pesa cerca de 2 g; e a maior é o avestruz, que chega a pesar 136 kg. As maiores de todas as aves, atualmente extintas, viveram em Madagáscar, e alcançavam uma altura de 3 m. O vasto número de gêneros foi agrupado em aproximadamente quarenta ordens, sendo que os Passeriformes constituem quase a metade de todas as espécies conhecidas.



Aves não voadoras extintas

As maiores dentre todas as aves não eram voadoras. Pensou-se inicialmente que se relacionavam todas entre si, mas hoje em dia esta idéia já foi abandonada. Na medida em que desenvolveram hábitos terrestres, seu aumento de tamanho e ferocidade as protegeram contra seus inimigos.

O *Phororhachos* sul-americano assemelhava-se muito com o *Diatrymas*. Alguns possuíam cabeça do tamanho da de um cavalo e os fósseis correspondentes foram encontrados em rochas da Argentina; são do Oligoceno, Mioceno e Plioceno.

O *Diatrymas* era um enorme carnívoro terrestre do início do Eoceno; tinha altura superior a 2 m, asas reduzidas, e volumosa cabeça.

O primeiro osso de um moa, proveniente da Nova Zelândia, foi trazido para Londres em 1838. Há evidências de que os nativos matavam os moas para se alimentarem e os cozinhavam em buracos de 1,50 m de diâmetro, cavados na terra. Tinham até 3,60 m de altura.

Os feios dodos foram numerosos durante algum tempo na Ilha Maurícia. Entretanto, estas aves do tamanho de cisnes e aparentadas com os pombos tiveram seu número reduzido com a chegada, inicialmente em 1505, de exploradores portugueses, e, posteriormente, de holandeses, em 1598 e, em 1691, estavam totalmente extintas.

Aves não voadoras atuais

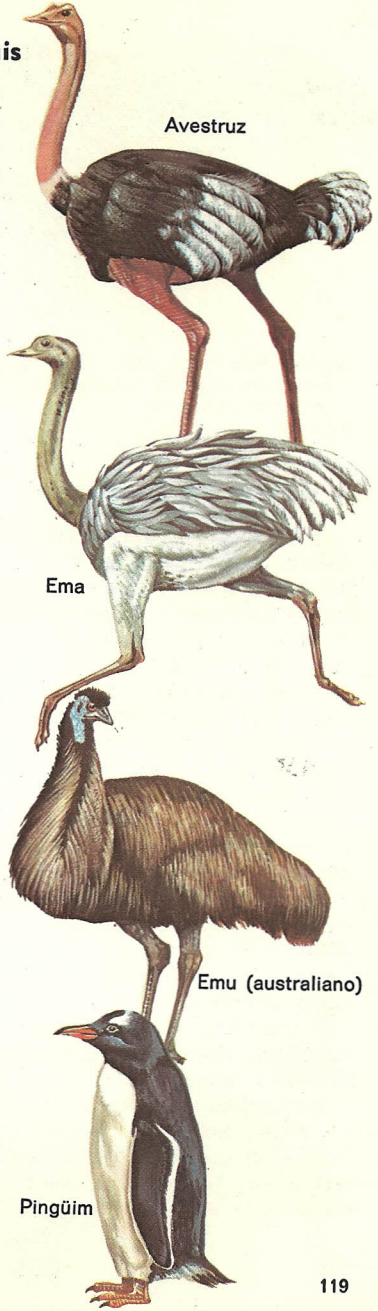
Figuram nesse grupo aves de grande porte, como os avestruzes, as emas, os emus (espécie de avestruz australiana), os casuares e os quiuís.

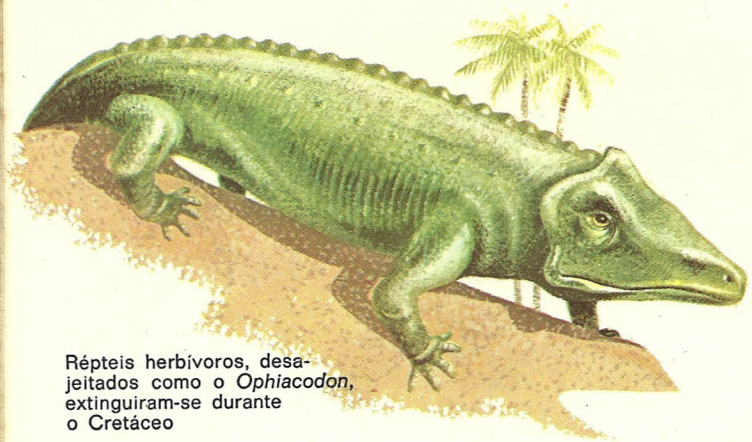
Os avestruzes vivem em estado selvagem na África e na Arábia; no entanto, vestígios fósseis datando do Eoceno indicam a existência de seus ancestrais na Suíça. Suas patas de dois dedos e providas de coxins permitem-lhes correr em alta velocidade, tanto em desertos de pedregulhos como nos arenosos.

As emas, da Argentina, são as vezes chamadas de avestruzes, embora essas aves não sejam intimamente aparentadas entre si. Foram encontradas em formações pliocênicas da América do Sul.

O grupo dos emus e dos casuares se restringe à Austrália e à Nova Guiné. Suas asas são mais reduzidas do que as dos avestruzes e emas.

Ainda não se conhecem claramente as relações existentes entre os pingüins do hemisfério sul com outras aves. Parecem ter tido ancestrais comuns com os albatrozes oceânicos e as procelárias provavelmente no fim do Cretáceo ou no início do Cenozóico. Mesmo as formas mais primitivas parecem ter sido incapazes de voar. As opiniões divergem quanto ao modo como evoluíram para se adaptar tão perfeitamente à vida aquática.





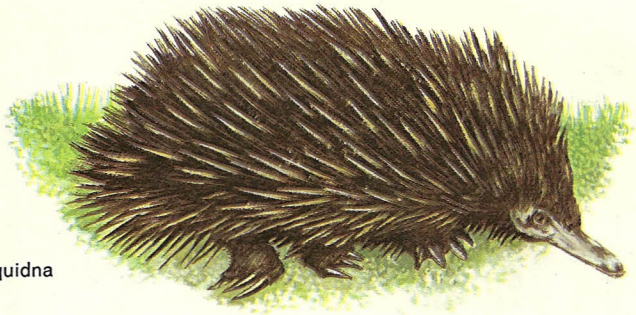
Répteis herbívoros, desajeitados como o *Ophiacodon*, extinguiram-se durante o Cretáceo

A origem dos mamíferos

O fim do Cretáceo é um marco na evolução dos répteis, na medida em que estes começaram a ser substituídos pelos mamíferos que assim passaram a ser os vertebrados predominantes. Não há muita dúvida quanto ao fato de que os principais fatores deste fenômeno tenham sido as mudanças climáticas e geográficas que começaram a ocorrer no início do Terciário. Regiões temperadas surgiram, substituindo as quentes que até então predominavam de maneira generalizada por toda parte. Faltou um isolamento térmico adequado aos répteis de sangue frio, que se tinham adaptado ao calor e que, conseqüentemente, foram incapazes de se ajustar às novas condições.

As modificações climáticas também afetaram a flora, sendo que as cicadáceas, plantas típicas do Mesozóico, só sobreviveram nas regiões mais quentes. Constituíram a princípio a base da alimentação dos répteis herbívoros, porém, à medida que se tornaram escassas, os répteis sofreram correspondente declínio. O tamanho reduzido do crânio pode ter sido outro fator responsável pelo fenômeno, ou então, foi o aumento geral do tamanho que dificultou o movimento e a coordenação muscular.

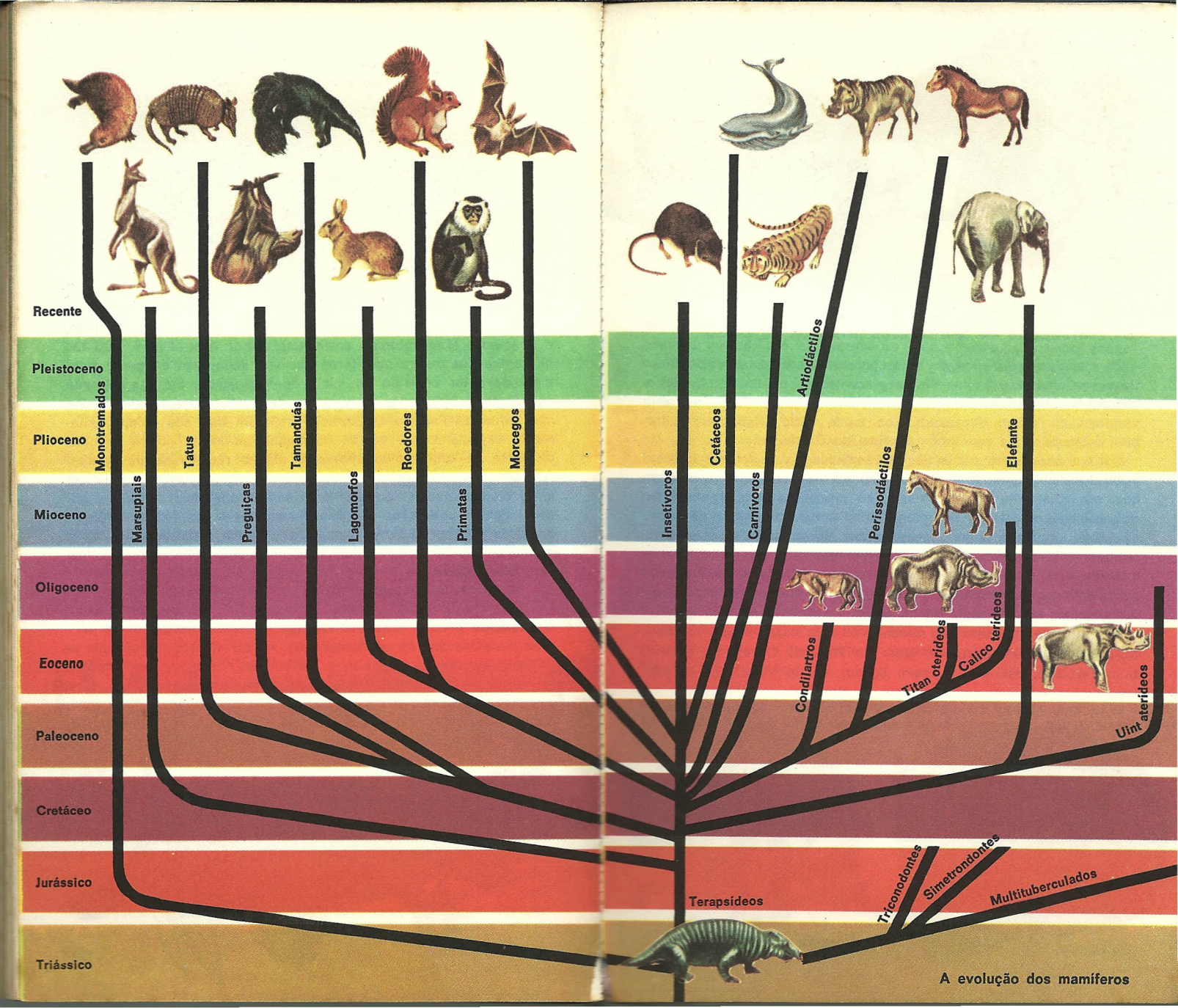
Os mamíferos evoluíram lentamente durante a época do predomínio dos dinossauros. Répteis portadores de características de mamíferos existiram desde o início do Período Triássico, sendo o *Cynognathus* um exemplar típico; este chegava a medir cerca de 2,10 m de comprimento. As características mais notáveis dos mamíferos eram os dentes diferenciados e os membros que sustentavam o corpo em atitude peculiar aos mamíferos. Entretanto, possuíam ainda uma cauda longa, com articulação típica de répteis.



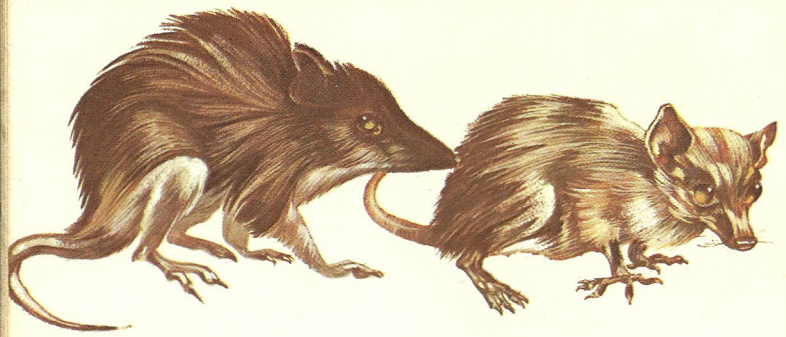
Équidna

Os mamíferos atuais que se reproduzem por meio de ovos são o ornitorrinco *(Ornithorhynchus anatinus)*, dotado de bico de pato, e o équidna *(Tachyglossus aculeatus)*, ambos australianos. São tão diferentes dos outros mamíferos que sua separação do grupo principal deve ter ocorrido no início do Mesozóico. Sua organização nos fornece indicações a respeito de muitas características dos mamíferos do Período Mesozóico. Hoje em dia, são animais altamente especializados, ambos edentados na forma adulta, embora o filhote de ornitorrinco apresente alguns rudimentos de dentes. A ausência de dentes é compensada pelo desenvolvimento de um largo bico córneo. O équidna é protegido por meio de rijos espinhos. Possui poderosos membros cavadores e um focinho alongado. Suas características de mamíferos incluem a pelagem e a amamentação dos filhotes, conquanto estes nasçam de ovos, como no caso dos répteis.

Ornitorrinco



A evolução dos mamíferos



Peramele

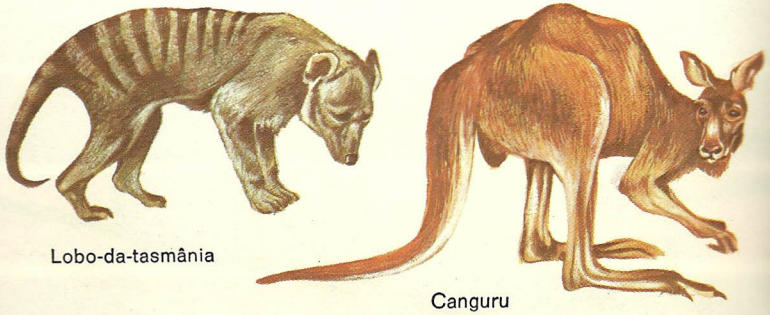
Didelfo

Os marsupiais — Mamíferos providos de bolsa

Os mamíferos providos de bolsa apresentam algumas características similares às dos mamíferos placentários, porém são primitivos no que se refere a outras; assim, não resta dúvida de que divergiram do grupo dos mamíferos muito cedo. Retratam muito bem como eram os mamíferos do final do Cretáceo.

Existem atualmente cerca de 230 espécies vivas de marsupiais, variando todas quanto aos hábitos e às formas, numa evolução que, no isolamento da Australásia, se processou paralelamente à diversificação adaptativa dos placentários em outras partes do mundo. Hoje em dia a maioria se encontra na Austrália, com alguns representantes na América do Sul e na do Norte. No Eoceno, entretanto, não resta dúvida de que existiram também na Europa, extinguindo-se, provavelmente, devido à superioridade competitiva dos placentários em rápida evolução.

O continente sul-americano encontra-se atualmente ligado ao resto da América pelo estreito Istmo do Panamá. Entretanto, durante o Terciário, não estava assim ligado, a esta vinculação só foi



Lobo-da-tasmânia

Canguru

Coala

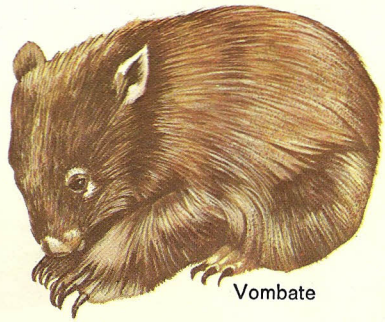
Filandra

restabelecida num estágio bem tardio do Cenozóico. Os didelfos, como o gambá, são atualmente os únicos marsupiais encontrados na América do Sul; contam atualmente setenta e duas espécies. As evidências fósseis indicam que, durante o isolamento, os marsupiais se diferenciaram em diversas direções. Alguns acompanharam a evolução dos cães e gatos carnívoros de outros continentes, até que as conexões entre as duas Américas se restabeleceram. A essa altura, houve a invasão dos placentários, causando rapidamente a extinção dos marsupiais carnívoros e deixando apenas alguns poucos didelfos.

Os marsupiais da Austrália sobreviveram porque aquele grande continente foi isolado do resto do mundo no Cretáceo e continua isolado ainda hoje. Os mamíferos marsupiais tinham invadido o território australiano antes do isolamento, e outros mamíferos terrestres só entraram ali por iniciativa do homem (excluindo morcegos e ratos que aparentemente se originaram no Leste das Índias). Assim, uma curiosa e fascinante fauna foi capaz de evoluir paralelamente a grupos de mamíferos superiores que evoluíram em outras áreas do mundo.

Os marsupiais se irradiam com sucesso em um grande número de formas em habitats livres da competição de mamíferos placentários

Diabo-da-tasmânia



Vombate

Embrião alantóico de marsupial

Mamíferos placentários

A evolução dos placentários primitivos marca o estágio final da linha geral de ascensão dos mamíferos; a placenta age como uma estrutura intermediária graças à qual o embrião em desenvolvimento se alimenta. O modo de reprodução placentária resulta no nascimento de um filhote em estágio mais avançado que o das crias dos marsupiais. A ocorrência de um desenvolvimento pré-natal mais prolongado e de um período de cuidados pós-natais e subseqüente treinamento, assim como cérebros maiores e mais eficientes, apresentados pela maioria dos grupos, são características que exerceram grande influência em favor do predomínio dos mamíferos placentários.

Os placentários primitivos surgiram no Cretáceo, aproximadamente ao mesmo tempo que os marsupiais, o que leva a pensar num ancestral comum. Eram insetívoros, precursores das toupeiras, musaranhos e ouriços atuais. Alguns apresentam estruturas e características similares às destes últimos, ao passo que outros têm

A placenta permite que o embrião do mamífero atinja um maior desenvolvimento antes do nascimento

Embrião placentário

Deltatheridium

uma forma nitidamente primitiva. Eram todos pequenos, inofensivos na maioria, de hábitos noturnos e totalmente insignificantes em comparação com os gigantescos dinossauros no meio dos quais viviam, e com os mamíferos que posteriormente evoluíram a partir destes grupos iniciais de placentários primitivos.

O *Deltatheridium* é um insetívoro fóssil encontrado no Cretáceo Superior da Mongólia e que apresenta características muito próximas do ancestral dos insetívoros e de todos os mamíferos placentários. Seu crânio era tubular e alongado mas faltava-lhe o focinho especializado de algumas formas modernas.

Diversas variedades derivaram desses mamíferos primitivos, adaptando-se a todos os ambientes disponíveis e povoando-os progressivamente. Muitos mamíferos se tornaram maiores e isto pode ser relacionado ao desenvolvimento de um cérebro maior. Os membros tornaram-se mais longos e especializados para a locomoção. O número de dentes reduziu-se em muitos deles e sua forma se adequou a dietas específicas.

Os musaranhos insetívoros atuais se parecem com os seus remotos antepassados

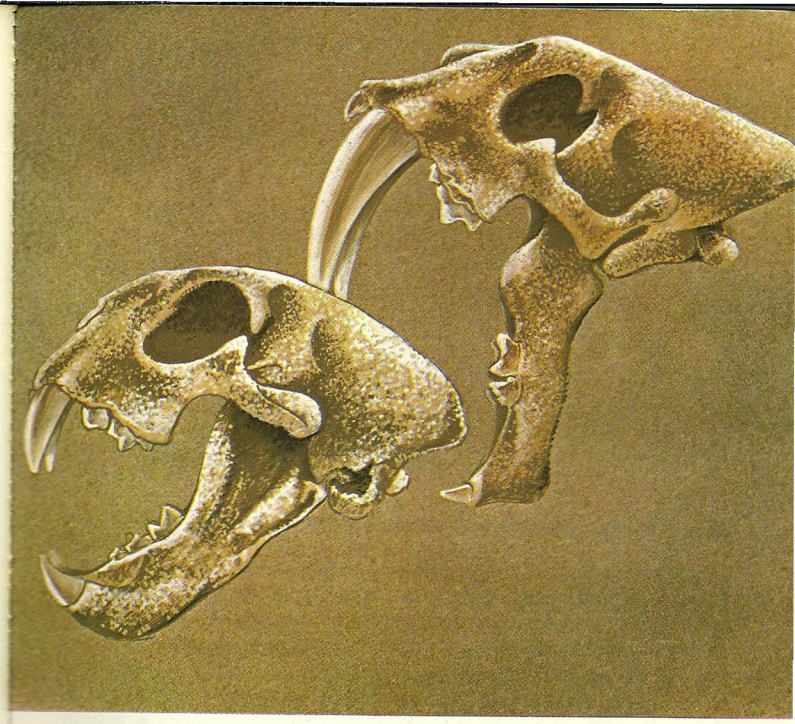
Mamíferos carnívoros

Os mamíferos primitivos do Cretáceo eram muito provavelmente insetívoros, pelo que não é surpreendente que alguns de seus descendentes se tornaram carnívoros. De fato, praticamente todos os carnívoros modernos evoluíram a partir de um único grupo.

As maiores modificações nos hábitos dos mamíferos carnívoros se relacionaram com o padrão dos dentes. O ato de matar, próprio do carnívoro, é realizado utilizando principalmente os dentes; estes devem perfurar peles resistentes, dilacerar tendões vigorosos e triturar ossos duros. O fato de que a carne é digerida facilmente significa que não precisa ser bem mastigada. Por isso, a região anterior da boca é que foi altamente adaptada. Os incisivos anteriores são os dentes que mordem e rasgam; em todos os carnívoros, os caninos laterais são armas longas e aguçadas que perfuram e rasgam. Os dentes posteriores são pouco numerosos, e os que estão presentes têm arestas afiadas e superfícies eriçadas de pontas. Em muitos carnívoros, como os cães, desenvolveu-se, de cada lado da mandíbula, um par de dentes muito especializados, as chamadas «presas». Os dentes não encostam uns sobre os outros diretamente, mas deslizam uns pelos outros, como se fossem tesouras, rompendo e retalhando tecidos muito resistentes.

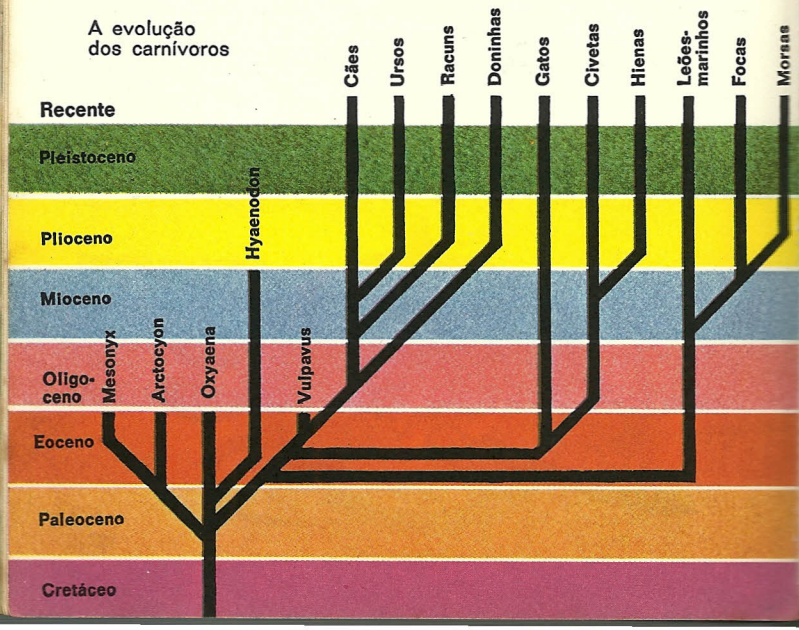
O esqueleto tem uma base muito mais primitiva, pois deve permanecer flexível para permitir ao animal uma rápida movimentação. Não é necessária uma redução no número de dedos porque as garras são importantes para ajudá-los a trepar nas árvores assim como para atacar e prender a caça. Algumas formas perderam o «polegar» e os grandes dedos.

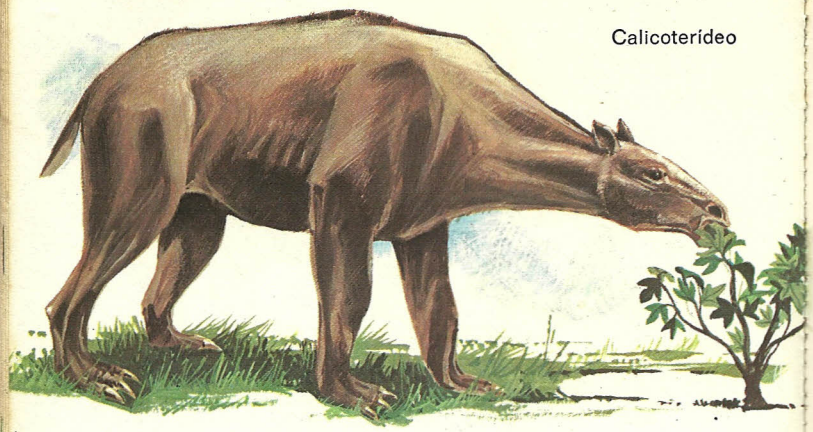
As formas carnívoras predominaram no Eoceno, a primeira parte do Terciário. São referidas como carnívoros arcaicos ou creodontes, e estão todas extintas atualmente. A faixa de tamanhos era extensa, sendo alguns comparáveis às doninhas modernas, enquanto outros desenvolveram dimensões maiores. A diversificação adaptativa que ocorreu nesta ordem de caçadores é bastante ampla. Assim, por exemplo, as focas, leões-marinhos e as morsas são carnívoros marinhos que existem desde o Mioceno. Os ursos resultaram de ramificação ocorrida no Mioceno, a partir do grupo dos cães, sendo ambos carnívoros comparativamente primitivos e associados aos pequenos carnívoros típicos da família das doninhas. Os mais modificados são as civetas e os mangustos *(Viverridae)*, as hienas e os gatos verdadeiros *(Felidae)*.



Crânio de tigre-dentes-de-sabre (à direita), comparado ao de um gato atual (à esquerda), envidenciando as modificações para atacar e morder.

A evolução dos carnívoros





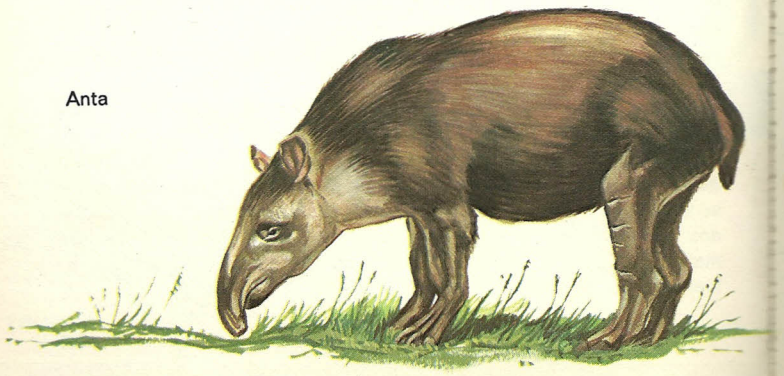
Calicoterídeo

Mamíferos providos de cascos (Ungulados)

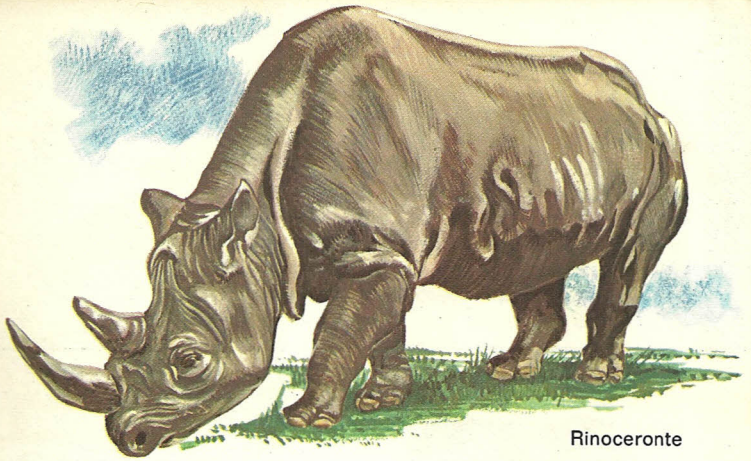
Existem cerca de 20 espécies atuais de herbívoros ungulados. Durante o Paleoceno, certo número de animais abandonaram os hábitos insetívoros e começaram a se alimentar de plantas. Os primeiros ungulados foram os condilartros, que se assemelhavam aos primeiros carnívoros com seu corpo comprido e membros curtos, de estrutura primitiva. Entretanto, os dentes posteriores se desenvolveram para a mastigação dos alimentos vegetais e apesar de todos os dedos estarem presentes, foram revestidos por um pequeno casco.

Os *perissodactilos*, ungulados atuais de dedos ímpares, incluem os cavalos, os rinocerontes e as antas. O eixo de simetria das patas passa pelo dedo do meio e houve uma tendência para a redução a um único dedo.

Nas formas unguladas primitivas, os extintos titanoterídeos, semelhantes aos cavalos, surgiram no Eoceno e evoluíram rapidamente para tamanhos gigantes. Sendo lentos e desajeitados, serviram de presa aos carnívoros maiores de sua época.



Anta



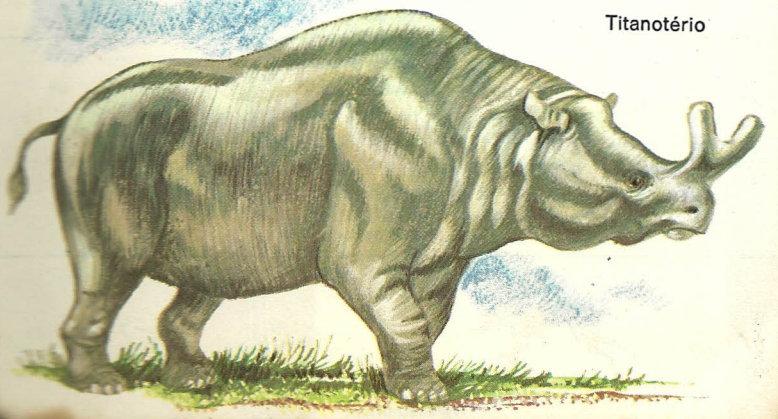
Rinoceronte

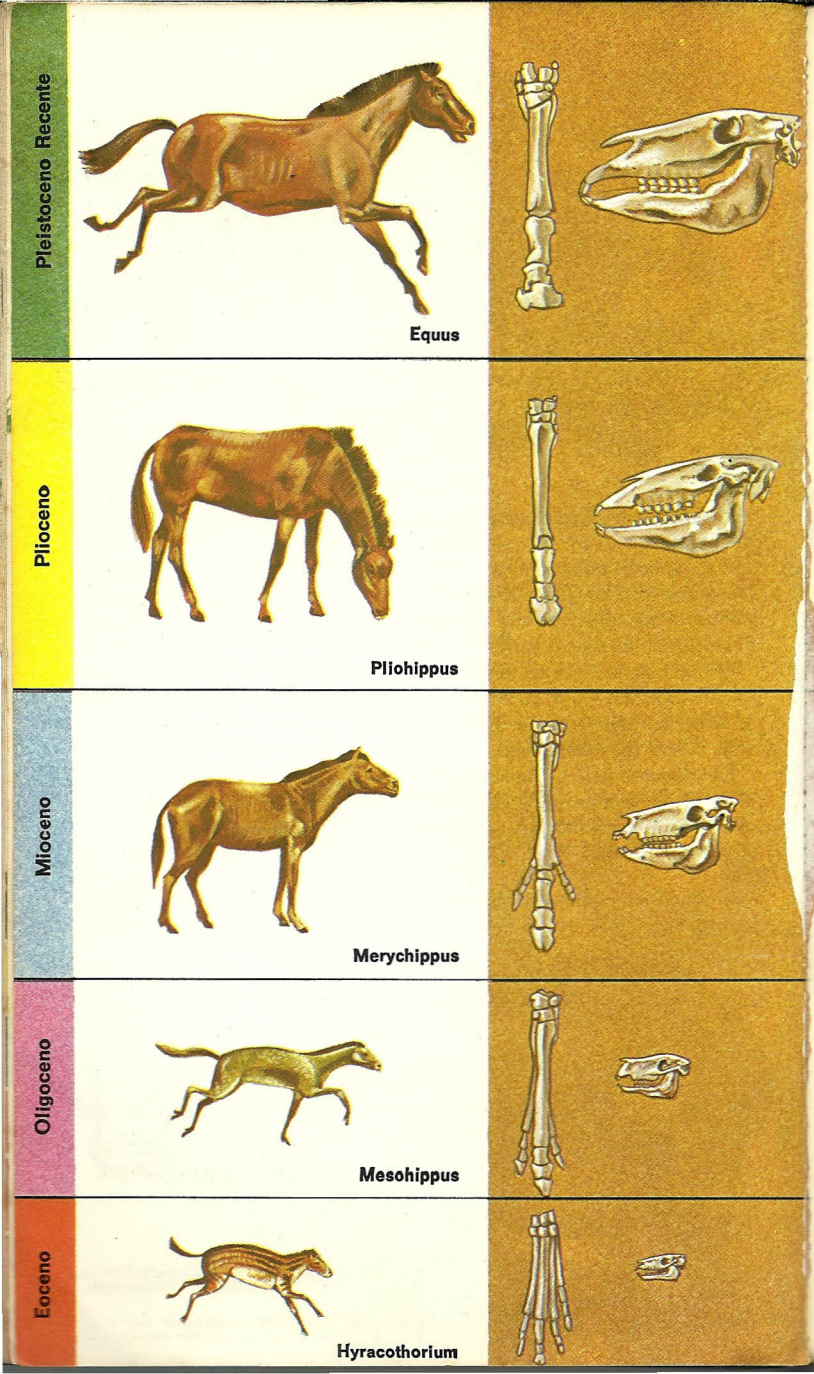
Os *calicoterídeos* também eram comuns no Terciário. Assemelhavam-se aos cavalos, pois uns e outros têm os dentes de titanoterídeos, adequados apenas a vegetais delicados. Seus dedos eram dotados de enormes garras.

Os únicos representantes das antas se restringem aos trópicos da América do Sul e da Malásia. No Terciário, eram difundidos pela América do Norte e Europa e desapareceram destas regiões com o frio do Pleistoceno.

Os rinocerontes se limitam hoje em dia aos trópicos do Velho Mundo. As formas primitivas do Eoceno eram animais magros, pequenos, de conformação semelhante à do cavalo, e eram desprovidos de cornos.

Titanotério





A evolução do cavalo

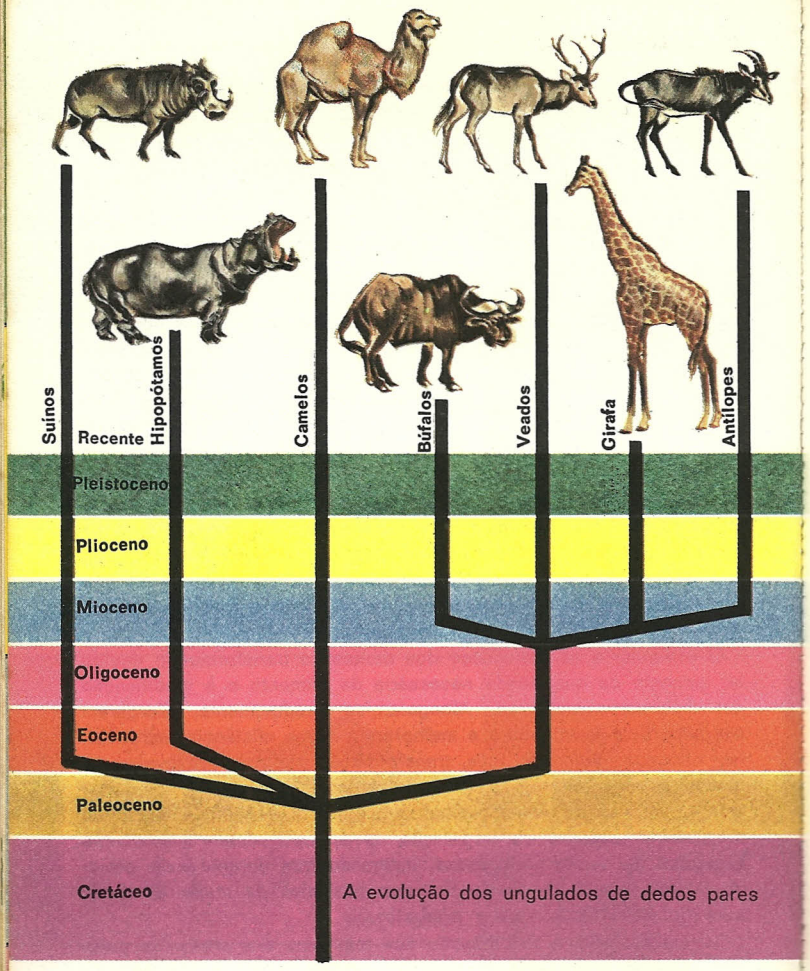
O cavalo constitui provavelmente o mais amplamente conhecido de todos os exemplos evolucionários. Os sedimentos do Terciário da América do Norte, contêm uma excelente série de fósseis provenientes de prados, onde ocorreu a maior parte da evolução dos cavalos. As formas primitivas tinham o tamanho de um cão de corrida e foram achadas desde os primórdios do Eoceno. Pode-se observar no quadro ilustrativo suas subseqüentes tendências evolutivas, que produziram quatro modificações principais: aumento progressivo do tamanho, alongamento dos membros, com modificação da estrutura das patas, transformações no crânio e nos dentes, e aumento do tamanho relativo e da complexidade do cérebro.

Enquanto a parte mais alta do *Eohippus* atingia menos de 30 cm, o cavalo de tração moderno pode muito bem alcançar 1,50 m. Apesar das vantagens óbvias acarretadas por um aumento no tamanho, havia também vários problemas. O grande aumento no peso produz crescentes tensões sobre os membros que, conseqüentemente, devem desenvolver ossos mais resistentes. Os hábitos alimentares também se tornam mais complexos na medida em que se requer maior quantidade de alimento. Assim, o cavalo moderno não corresponde apenas a uma edição aumentada do *Eohippus*. O animal no seu todo sofreu modificações drásticas em várias estruturas, sendo todas relacionadas com o aumento geral do tamanho.

O esquema e as dimensões dos dentes se transformaram devido ao aumento da quantidade necessária de alimento e à modificação dos hábitos alimentares. Alongaram-se gradualmente, alargaram sua superfície mastigadora e melhoraram a sua eficiência estrutural. No Mioceno, sofreram uma transformação radical, provavelmente devida ao fato de que esses animais começaram a pastar fartamente, em vez de comer somente brotos, como conseqüência da modificação ocorrida na vegetação da época. Existem abundantes sementes de capim fossilizadas, indicando que durante este período houve uma transição de florestas fechadas de madeiras duras para florestas mais ralas e pradarias.

Juntamente com a modificação dos membros e a crescente pressão exercida sobre eles, houve uma redução dos dedos e uma alteração nas extremidades das patas. A redução a um único casco reflete a mudança do animal para as planícies. O casco único teria sido muito inadequado no interior das florestas, mas era ideal para corridas altamente velozes no solo mais firme dos prados.

(Na pág. 132): Desenvolvimento dos membros, crânio e forma geral, durante a evolução do cavalo. Note-se a redução no número de dedos, que permitiu maior velocidade de corrida sobre terrenos endurecidos. As reconstituições foram desenhadas em escala proporcionada aos tamanhos reais



A evolução dos ungulados de dedos pares

Ungulados de dedos pares

Os ungulados de dedos pares ou *artiodáctilos* tiveram por muitos milhares de anos uma extrema importância para o homem, e para os carnívoros, cujas vidas dependiam deles. Apesar de presentes no início do Eoceno, só mais tardiamente constituíram um grupo predominante e diversificado. Parece ter ocorrido uma nítida divisão entre suínos e ruminantes.

Os suínos e seus similares da atualidade são, em muitos sentidos, os mais primitivos dos ungulados de dedos pares. São animais dotados de quatro dedos, porém, os dois laterais são reduzidos. Seus membros não se alongaram, de modo que não desenvolveram velocidade.

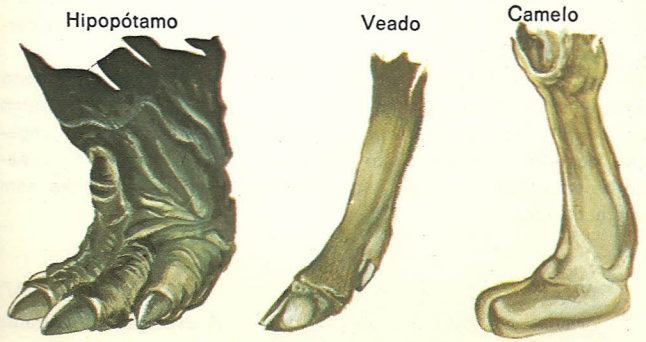
O hipopótamo é remotamente relacionado aos suínos encontrados no Pleistoceno, em regiões tão distantes entre si como a Inglaterra e a China. Apenas duas espécies sobreviveram atualmente.

Sem dúvida alguma, o sucesso dos ruminantes é largamente devido ao seu estômago dividido em quatro compartimentos, o que torna possível ao animal digerir gramíneas resistentes. Este arranjo complexo permite-lhes engulir rapidamente grandes quantidades de alimento, recolher-se a uma área segura, e fazê-lo refluir dos dois primeiros compartimentos, de modo que possa ser mastigado e depois digerido vagarosamente. Os ruminantes pertencem ao último grupo importante de mamíferos que evoluiu, tendo a maioria se ramificado no Eoceno. Os veados dotados de cornos, as girafas e os ocapis, os bovídeos (bois, carneiros, cabras), possuem estômagos ainda mais complexos.

Os camelos e lhamas foram os primeiros a evoluir, e tiveram uma longa história, bem diferente. Seu habitat original no Oligoceno e Mioceno foi a América do Norte, mas no Pleistoceno, as lhamas se estabeleceram na América do Sul e o camelo verdadeiro migrou para a Ásia.

Pode-se perguntar a razão da supremacia dos ungulados de dedos pares sobre os de dedos ímpares. Os dentes, cérebro e patas desempenharam nisso um papel importante. Mas, provavelmente, o extraordinário desenvolvimento do estômago foi a verdadeira causa do maravilhoso sucesso dos artiodáctilos.

Diversificação dos dedos nos ungulados de dedos pares



Elefantes e similares

As evidências fósseis demonstram que antigamente os elefantes eram adaptados aos tipos mais variados de clima.

A espécie mais primitiva que deixou vestígios é o *Moeritherium*, um pequeno animal que apresentava poucas das características dos elefantes que conhecemos hoje em dia. Não tinha tromba (mas talvez um focinho de suíno) mas possuía todos os dentes, assim como já apresentava sinais visíveis de um par superior e um inferior de dentes maiores. Alguns entendidos no assunto discutem se deveria ou não pertencer ao grupo dos elefantes, já que tinha estas características primitivas. Houve um aumento gradual no tamanho, as mandíbulas se encurtaram; as presas se desenvolveram, sendo que as superiores se tornaram livres e recurvadas e as inferiores eventualmente se reduziram, assim como se formou uma tromba altamente flexível. Os dois elefantes modernos e os mamutes derivaram do grupo de mastodontes do Mioceno. O esquema evolutivo é bem complexo e as seqüências são na sua maioria conjeturas.

Os mamutes primitivos se originaram da Ásia e logo se espalharam pela Europa, sendo que seus descendentes migraram para a América do Norte, onde deram surgimento às formas gigantes. O mamute lanudo *(Mammuthus orimegenius)* se adaptou às estepes e era muito comum no último período glacial. Seu aspecto real é bem conhecido graças a descobertas de espécimes inteiros no gelo da Sibéria.

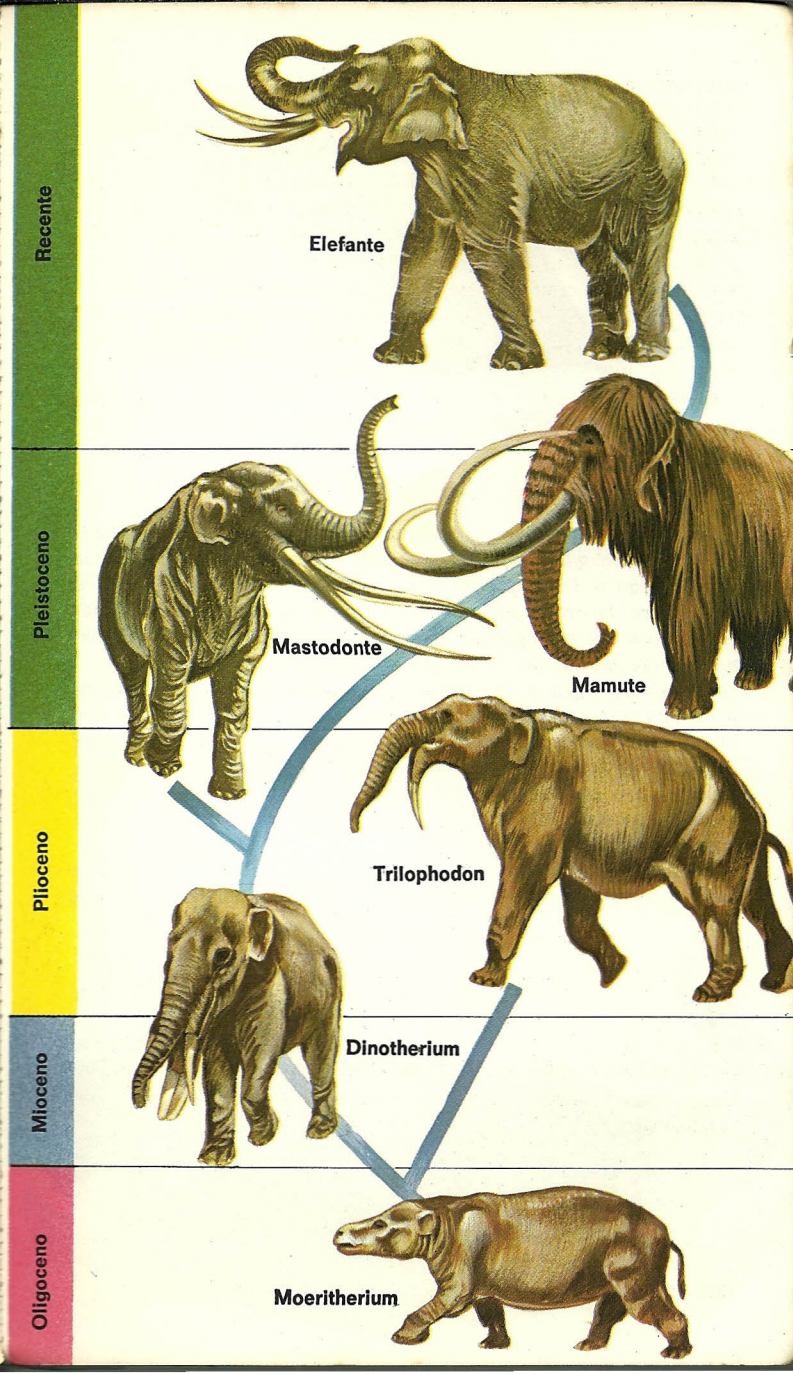
Apesar de existirem muitas outras diferenças entre o elefante africano moderno *(Loxodonta africana)* e o elefante indiano *(Elephas maximus)*, a identificação usual logo se faz pelo aspecto das orelhas, que são grandes no africano e pequenas no indiano.

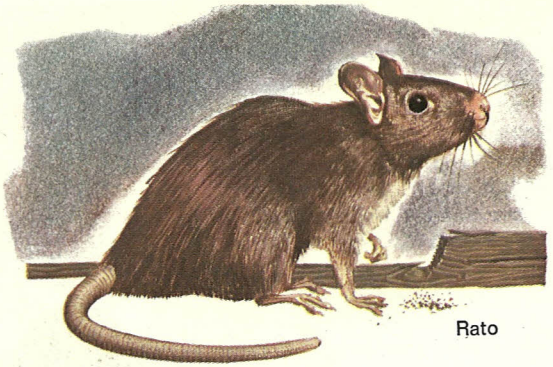
Acredita-se que os hiracóides *(Procaviidae)* são parentes dos elefantes, tendo-se provavelmente ramificado a partir do desenvolvimento destes, por volta da metade do Paleoceno. Superficialmente se assemelham aos coelhos, mas internamente possuem certos vínculos nítidos com os elefantes.

Os sirenídeos *(Sirenia* de hoje incluem o dugongo do Oceano Índico e do Mar Vermelho e o peixe-boi das costas do Atlântico tropical. São animais aquáticos, alimentam-se de brotos da vegetação costeira e foram muito difundidos no Terciário. As semelhanças com fósseis antigos vinculam os *Sirenia* aos elefantes sem sombra de erro.

(Na pág. 137)

A evolução do elefante





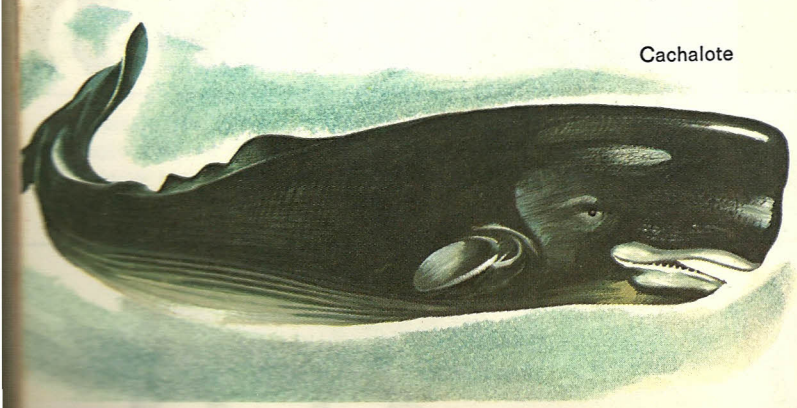
Rato

A diversidade dos mamíferos

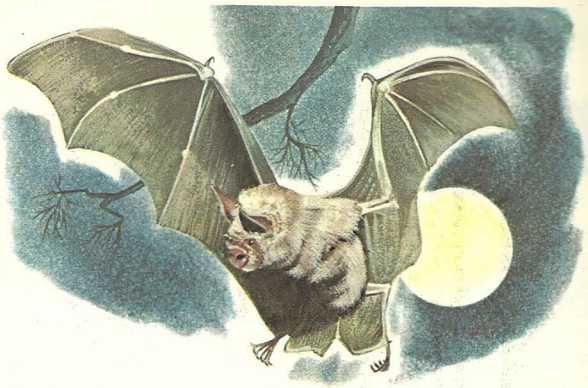
Os roedores são os mais numerosos de todos os mamíferos; durante sua evolução, se expandiram por quase todos os cantos da Terra, desde o Ártico até os trópicos. Apesar de ser pequeno seu cérebro, provaram ter sido os mamíferos mais bem sucedidos, devido à sua adaptabilidade e à sua capacidade de reprodução extremamente rápida.

As baleias estão quase totalmente adaptadas à uma vida aquática. Sua ancestralidade é incerta. De forma semelhante à dos peixes, sua adaptação interna mostra a mais apurada especialização entre os mamíferos. Há nas baleias vestígios de membros posteriores, que existiam em suas formas ancestrais terrestres. Não são ligados à espinha dorsal. Os membros anteriores são semelhantes a nadadeiras.

Apesar de não haver evidência fóssil intermediária, acredita-se que os morcegos se ramificaram de um grupo primitivo de insetí-



Cachalote



Morcego

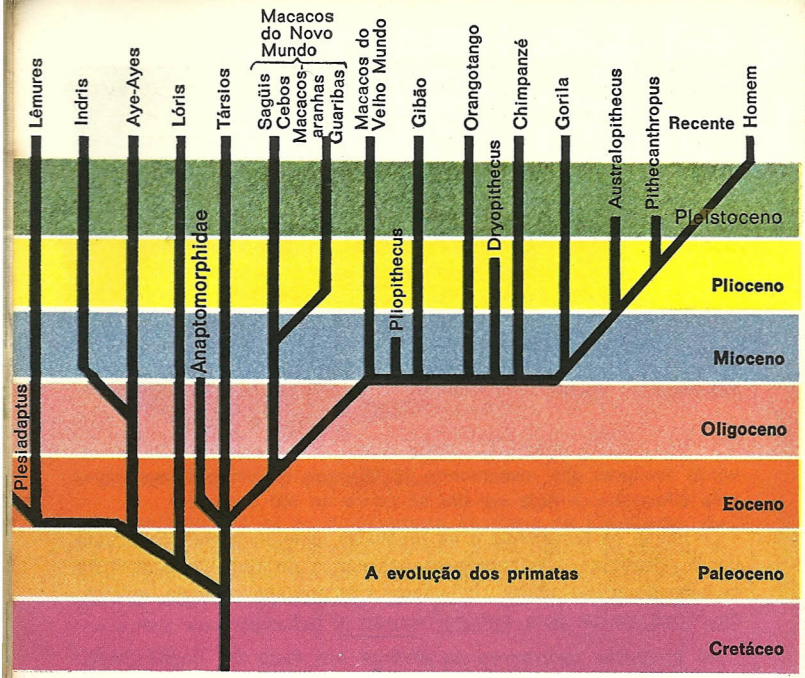
voros similares aos musaranhos. No Eoceno existiram várias espécies diferentes, e hoje em dia há cerca de 750 espécies.

Os tatus, os tamanduás e as preguiças, coletivamente conhecidos como edentados, são peculiares à América do Sul. Os tamanduás se alimentam de cupins, abundantes nas regiões tropicais, utilizando fortes garras para romper-lhes os ninhos.

As preguiças agarram-se às árvores por meio de longas garras recurvadas, dependurando-se dos galhos em posição característica, de cabeça para baixo. Os fósseis das preguiças arborícolas são muito raros, mas já se encontraram esqueletos inteiros de variedades gigantes terrestres extintas. O *Megatherium* do Período Pleistocênico alcançava proporções de elefante.

Os tatus são protegidos por placas ósseas revestidas de substância córnea. O gliptodonte, tatu gigante do Mioceno, indica que alguns alcançaram cerca de 3 m de comprimento.

Preguiça



Os Primatas

A ordem dos Primatas inclui macacos antropóides, macacos, musaranhos arborícolas, lêmures, pequenos lêmures africanos e társios. Os restos fósseis que ligam as diferentes famílias são relativamente escassos, devido ao fato de que a maioria era arborícola. Os membros dos primatas são muito primitivos, se comparados a especializações de outros mamíferos. Em muitas formas inferiores, a cauda inicialmente alongada se conserva como órgão de equilíbrio corporal, mas em algumas superiores, reduziu-se ou desapareceu definitivamente.

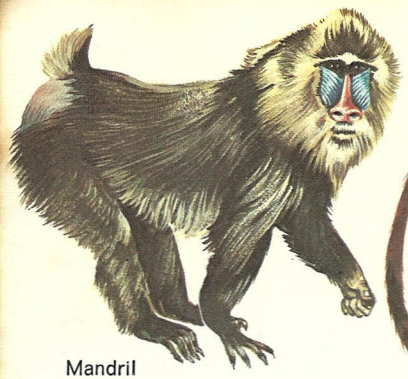
Durante a evolução dos primatas observam-se modificações com o fim de facilitar a vida nas árvores; o sentido do olfato degenerou enquanto o da visão se aperfeiçoou; os centros cerebrais se desenvolveram a fim de proporcionar uma excelente coordenação neuromuscular.

A estrutura dos musaranhos arborícolas aponta-os como intermediários entre os insetívoros e os primatas, porém seu cérebro é muito mais desenvolvido e complexo. Os musaranhos pouco se alteraram a partir do Paleoceno, quando se ramificaram dos insetívoros.

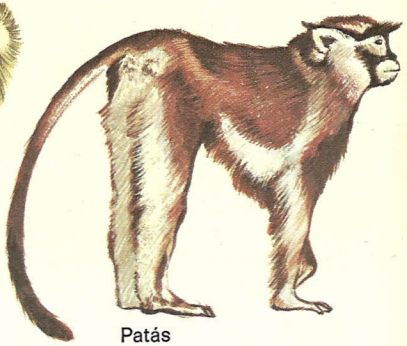
Foi a partir dos musaranhos que surgiram os lêmures e os társios, muito mais evoluídos. São todos arborícolas, alimentam-se de frutas e insetos, e na atualidade, sobrevivem geralmente em áreas restritas. Os lêmures são encontrados apenas em Madagáscar, os lóris na Ásia, e os galagos, assim como os potos habitam regiões africanas. Nos tempos primitivos eram todos muito difundidos, mas seu número foi reduzido pela competição com os macacos e os carnívoros. O curioso *aye-aye* de Madagáscar possui garras em todos os dedos, exceto no maior deles, e incisivos semelhantes aos dos roedores. Estas especializações lhe permitem alcançar os insetos que se abrigam no interior das cascas das árvores. Os lóris da Índia se movimentam de uma maneira peculiar não sendo capazes de pular como os potos da África, enquanto os galagos são capazes de magníficos saltos, graças às suas patas posteriores alongadas.

A única forma viva entre társios *(Tarsius)* vive nas Índias orientais e nas Filipinas. As formas fósseis datam do Paleoceno; vinte e cinco gêneros foram identificados nos sedimentos da América do Norte e da Europa. O társio é um animal por demais especializado para ser o ancestral direto dos primatas superiores. No entanto, apresenta vínculos nítidos com estes. Seu pescoço é muito móvel, enquanto que seus grandes olhos, apropriados à visão noturna, são orientados para frente, e têm mobilidade muito reduzida. Os astrágalos são muito desenvolvidos, de modo que alongam os pés e dão apoio aos poderosos membros posteriores do társio, que assim se torna capacitado a dar grandes saltos.

O aye-ayes (em cima) e os potos (embaixo)
são arborícolas de vida noturna
O poto é o equivalente africano do lóris



Mandril



Patás

Os macacos do Velho Mundo

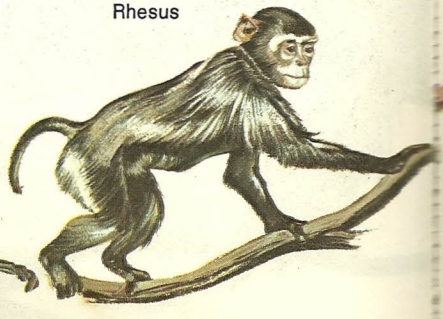
Há restos fósseis de macacos asiáticos e africanos que datam do Oligoceno. Os tipos mais primitivos são arborícolas, porém os babuínos e similares mostram tendência em direção à vida terrestre. Hoje em dia distinguem-se dois grupos; um deles comporta bolsas nas faces e o outro apresenta um complicado estômago (semelhante ao dos ruminantes).

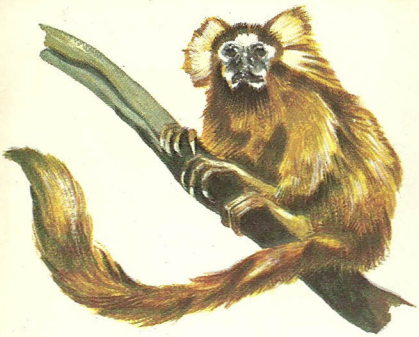
Os grupos que se caracterizam pelas bolsas faciais são muito encontrados nos zoológicos. Os monos, o macaco *Rhesus* e similares são animais especializados, com hábitos menos arborícolas, dentes afiados maiores e faces de certo modo mais alongadas. Os babuínos, mandris e bugios têm um focinho característico semelhante ao do cão, devido aos dentes alongados que se desenvolveram em face de uma dieta herbívora.

Os *langures* da Ásia são exemplos do segundo grupo; um deles tem nariz consideravelmente longo e pendente, que ainda constitui um dos mistérios da evolução.

Gelada

Rhesus





Sagüi

Uacari

Os macacos do Novo Mundo

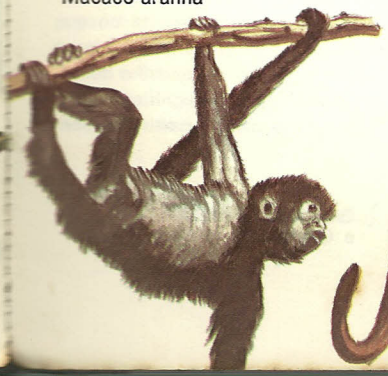
Os macacos sul-americanos são conhecidos como macacos de nariz achatado. Suas narinas são muito separadas entre si e se orientam mais lateralmente do que para baixo ou para a frente.

Os pequenos sagüis coloridos são os menores de todos. Assemelham-se aos esquilos; têm pêlos longos e espessos, caudas grossas e garras. Os sagüis e tamarins, diferentemente da maioria dos outros macacos, procriam dois ou três filhotes em cada gestação.

O outro grupo de macacos sul-americanos é constituído pelos Cebídeos. Seu representante típico é o macaco-aranha, que têm cauda preênsil. Os macacos-prego se alimentam de frutas e insetos, enquanto outros só comem frutos. O uacaris são cebídeos estranhos, que têm cabeça e pêlos compridos, sedosos, esbranquiçados ou amarelados, ao longo do corpo. A cauda é curta.

Todos os macacos apresentam olhos grandes e orientados para cima, fornecendo-lhes assim uma visão binocular. O tamanho aumentado de seu cérebro assegura-lhes alto nível de inteligência e grande capacidade de aprender.

Macaco-aranha



Macaco-prego

Os macacos antropóides (Pongídeos)

Os únicos representantes atuais dos pongídeos são os gibões, os orangotangos, os chimpanzés e os gorilas. São todos mais evoluídos que os macacos, principalmente no que se refere à maior complexidade cerebral e aos diferentes padrões de dentes. Os pongídeos já não podem mais saltar pelos galhos à maneira dos macacos devido ao seu maior tamanho. Mas se tornaram mais ágeis, graças à capacidade de se balançar nos galhos por meio dos braços, mais longos que as pernas e providos de músculos muito mais poderosos. Sofreram modificações no que se refere à sua estrutura corporal: seu tórax alargou-se enquanto o pescoço e os membros encompridaram e a cabeça aumentou de volume.

Existem semelhanças anatômicas e fisiológicas estreitas entre os pongídeos e o homem moderno. Não existe estrutura alguma no gorila que não possa ser encontrada no homem. O desenvolvimento relativo e o tamanho de certas áreas do corpo são quantitativamente diferentes, principalmente no que se refere as áreas associadas à locomoção e ao tamanho do cérebro. Isto não significa que o homem evoluiu a partir dos pongídeos; os dois grupos provavelmente derivaram de um mesmo grupo, no início do Mioceno.

Gibão (em cima)
e Chimpanzé (embaixo)

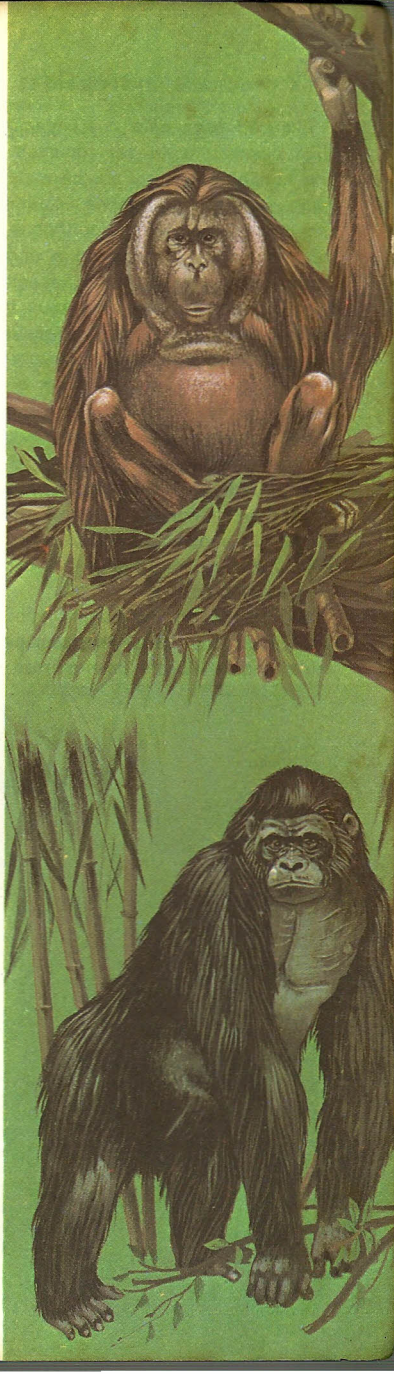
Os restos fósseis de pongídeos são raros, porém alguns exemplares mostram que estes primatas eram largamente difundidos através da Europa, Ásia e África, durante a metade e o final do Período Cenozóico.

O *Parapithecus* é descrito por alguns especialistas como um macaco primitivo cercopitecóide, enquanto outros o encaram como um pongídeo primitivo. Talvez tenha sido ancestral de ambos, não sendo possível estabelecer com rigor a posição que deve ocupar na classificação. Foi identificada como pertencente ao *Propliopithecus*, pequeno pongídeo primitivo, uma mandíbula encontrada nas camadas sedimentares egípcias do final do Oligoceno.

Os primeiros pongídeos que surgiram após o *Propliopithecus* foram o *Limnopithecus* e o *Proconsul*, encontrados em sedimentos africanos do Mioceno Inferior.

Parece que na Ásia, durante o Período Pleistoceno, existiram pongídeos maiores que os gorilas. Hoje em dia, os gorilas e os chimpanzés habitam a África Central; o orangotango, Bornéo e Sumatra; e os gibões, as florestas tropicais da Indonésia e do Sudeste Asiático.

Orangotango (em cima)
e Gorila (embaixo)



Dos macacos antropóides ao homem

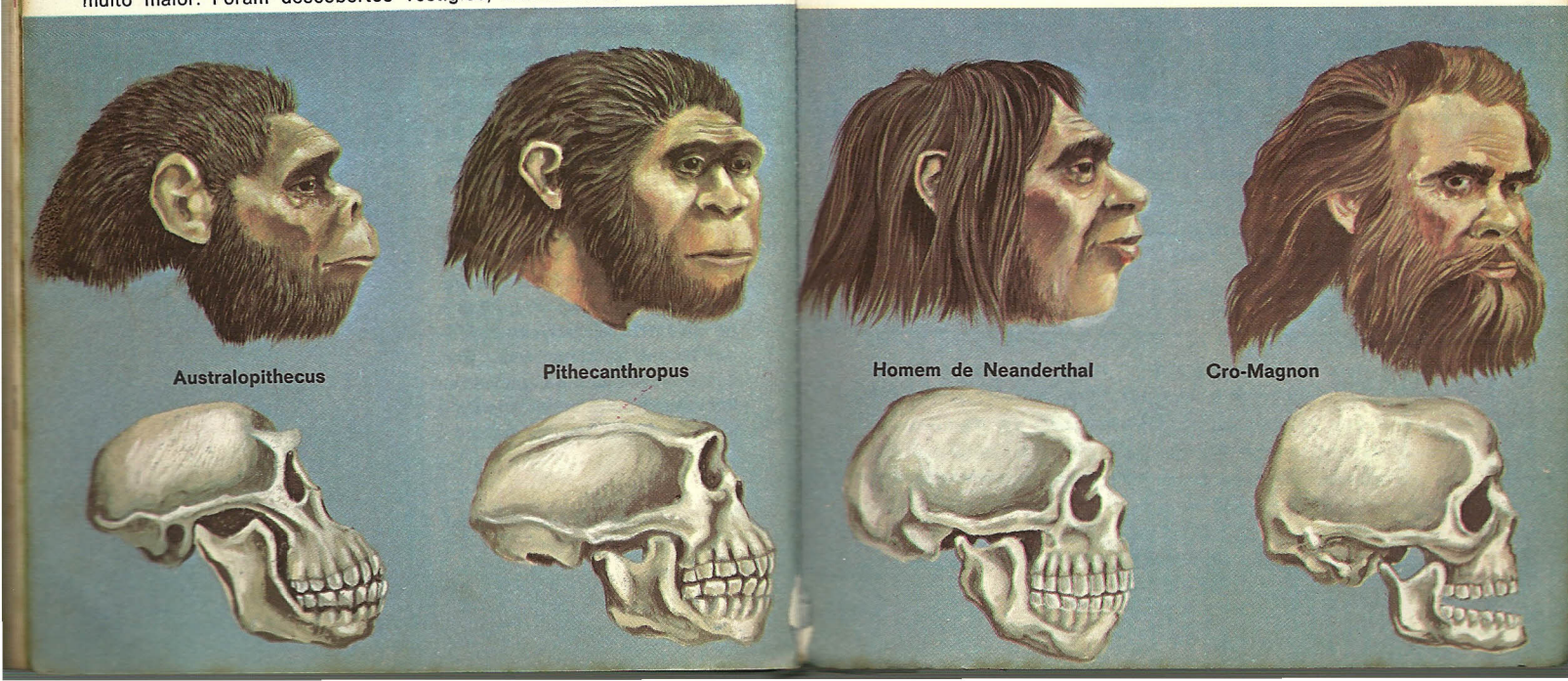
Exceção feita para o *Kenyapithecus* e o *Ramapithecus*, que podem possivelmente ser tomados como seus ancestrais, os primeiros hominídeos surgiram há mais de um milhão de anos atrás, durante os primeiros tempos do Pleistoceno. Foram os «homens simiescos do sul», ou *Australopithecus* da África. Por essa época é que os hominídeos começaram a andar em posição ereta. A princípio, foram considerados macacos antropóides, porém, sua posição ereta, a estrutura óssea dos seus quadris, assim como sua dentição, fizeram com que fossem classificados como hominídeos. Seu cérebro tinha o tamanho do de um gorila, mas o corpo era bem menor e, portanto, seu cérebro era proporcionalmente maior que o de um gorila.

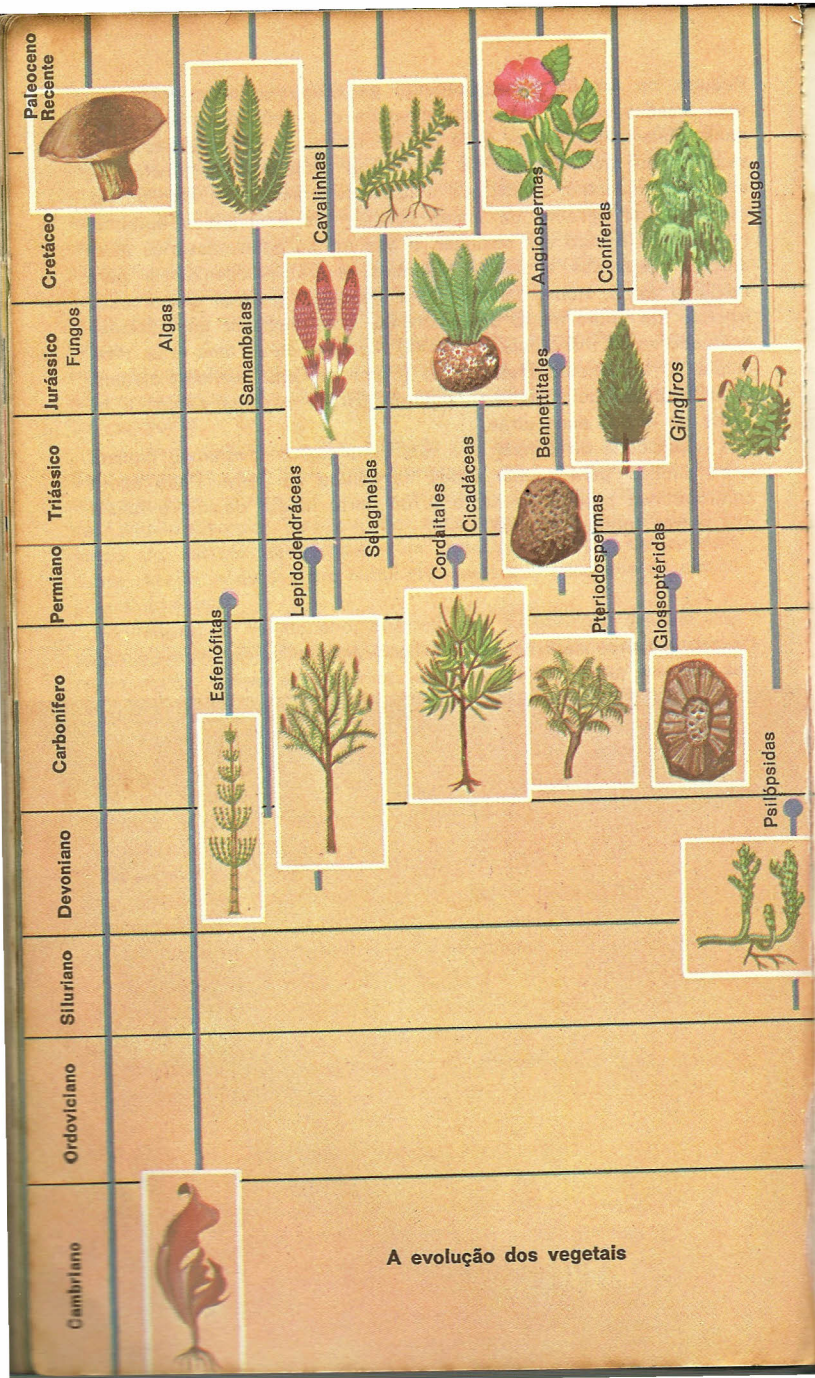
A primeira evidência a seu respeito foi encontrada em Taung, na Bechuanalândia, em 1924. Descobriram-se, mais recentemente, dois australopitecos diferentes, nos sedimentos inferiores da Garganta de Olduvai Georgia, Tanzânia. Foi encontrado num nível mais profundo do mesmo desfiladeiro, um *pre-Zinjanthropus*, de cérebro maior. Assim, pode ser que tenha sido mais avançado que os outros australopitecos.

Na metade do Pleistoceno, ocorreu uma substituição gradual dos australopitecos pelos verdadeiros hominídeos, dotados de cérebro muito maior. Foram descobertos vestígios, ultimamente, em Java e Pequim, na Argélia e na Garganta de Olduvai. Todos apresentavam arcadas superciliares proeminentes e a abóbada craniana era muito mais baixa do que a do homem moderno. O esqueleto foi-se modificando gradualmente ao longo das centenas de milhares de anos subseqüentes, sendo que a cavidade craniana se ampliou para comportar cérebro de maior volume. Os hominídeos aprenderam a atear o fogo e a cozinhar, o que tornou desnecessárias mandíbulas poderosas e dentes enormes, antes indispensáveis para rasgar a carne. Houve também uma atenuação gradual das arcadas frontais até então muito desenvolvidas para embasar os músculos acionadores da mandíbula, e, assim, desenvolveu-se uma testa mais ampla. O homem de Neanderthal (*Homo sapiens neanderthalensis*) foi substituído pelo homem moderno (*Homo sapiens sapiens*), há cerca de 40.000 anos atrás.

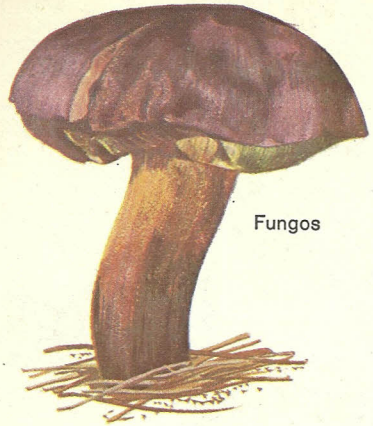
A capacidade de pensar e o raciocínio lógico levaram o homem a se difundir para ocupar todos os cantos da Terra. Pode agora controlar sua própria evolução e, de certo modo, decidir o futuro das outras formas de vida.

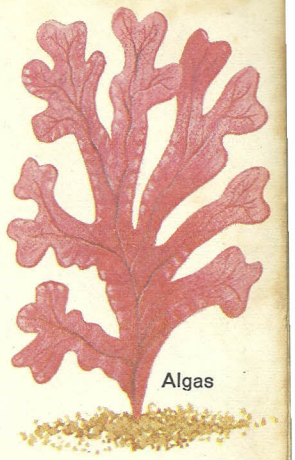
Desenvolvimento do crânio e aparência provável dos homens primitivos





A evolução dos vegetais



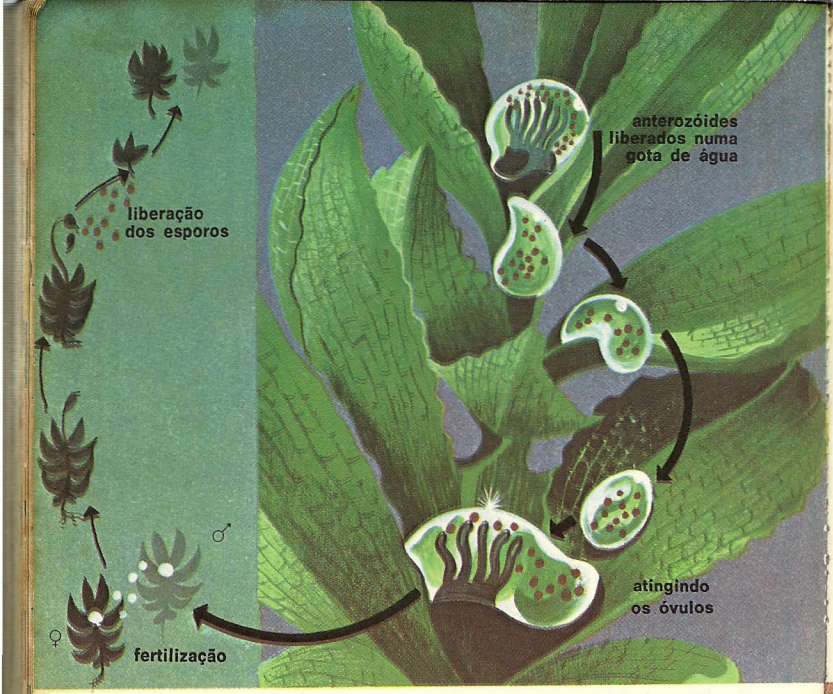


Representantes das Talófitas, grupo primitivo de plantas

A evolução da vida vegetal

Como os vegetais e os animais evoluíram inicialmente na água, é fácil compreender que as propriedades deste meio impuseram certas restrições às possibilidades evolutivas dos seres vivos, enquanto viviam nele. Os primeiros vegetais foram organismos unicelulares ou multicelulares de estrutura simples, sem a conhecida diferenciação em caule, folhas e raízes. São chamados *Thallophyta* e são representados especialmente por algas de vários tipos, marinhas ou de água doce.

As plantas não evoluíram além deste ponto enquanto não povoaram a Terra. Existem evidências de esporos de plantas terrestres datando do Período Devoniano; no entanto, no Período Cambriano, a terra já era parcialmente recoberta por plantas talófitas. A princípio, estas só viveram em águas de pouca profundidade. Para que pudessem manter-se em posição ereta, resistir ao ressecamento, retirar gás carbônico e oxigênio da atmosfera, essas plantas desenvolveram uma rija camada externa perfurada por estômatos. As raízes absorviam a partir do solo a água e os sais minerais dissolvidos nela. O modo de reprodução também teve que ser adaptado. Na água, as talófitas se reproduzem sexuadamente através de oosferas e anterozóides, ou assexuadamente através de esporos; assim, para alcançar a oosfera e fertilizá-la o anterozóide deve nadar através da água. Deste modo, sobre a terra, é necessária uma delgada película de umidade para assegurar a fertilização.



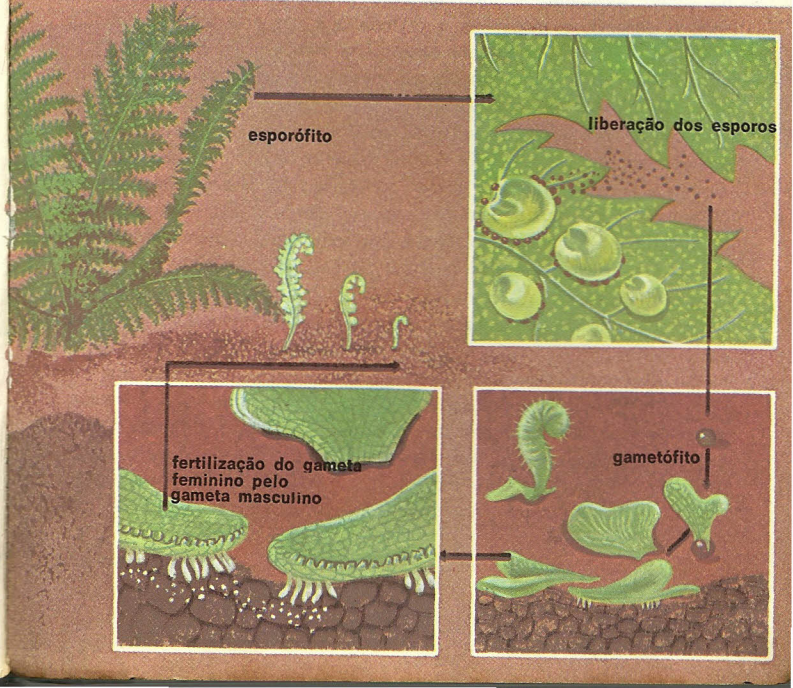
Alternância de gerações em musgo (Briófita)

As *Psilophyta* foram as mais simples plantas terrestres conhecidas: encontram-se restos bem preservados que datam do Período Devoniano. Uma delas, a *Rhynia major*, consistia em um eixo ereto que se continuava com um caule subterrâneo, ou rizoma, que não se diferenciava em raiz, mas apresentava rizóides absorventes. O caule se ramificava e no final de algumas ramificações formava esporos em grupos de quatro, como nas samambaias. Os estômatos, pequenas aberturas que permitem a circulação do ar, podem ser observados nos caules destas plantas, como nas folhas de todas as plantas terrestres. Foram encontradas folhas rudimentares em *Asteroxylon mackiei*, um vegetal relacionado à *Rhynia*. Estes vegetais do Período Devoniano evoluíram a partir de certas algas. Faltam provas, porém, para demonstrar que as *Psilophyta* foram as ancestrais diretas de quaisquer das plantas terrestres superiores. Entretanto, têm realmente a aparência das plantas que inicialmente povoaram o solo. Só podiam viver em lugares úmidos, porque os anterozóides necessitavam de água para alcançar o óvulo e fertilizá-lo.

As *Bryophyta* (musgos e hepáticas) apresentam uma estrutura relativamente simples que restringe seu tamanho. Em sua evolução não chegaram a formar estruturas muito complexas e apresentam uma marcada alternância de gerações. O musgo é chamado de *gametófito* visto que produz oosferas e anterozóides. A fusão destes dá origem ao pequeno *esporófito* que vive parasitando a fase gametofítica. Ao crescer, libera esporos que vão germinar, originando novos gametófitos. Por ser haplóide, o gametófito apresenta menor possibilidade de variação na composição genética.

Nas *Pteridophyta* (samambaias, cavalinhas e selaginelas), vegetais mais avançados, a fase duradoura e macroscópica é que constitui o esporófito, enquanto que o gametófito é reduzido. O esporófito apresenta uma composição cromossômica diplóide e conseqüentemente maior variabilidade genética. Assim, existe maior diversidade para a seleção natural atuar, e os resultados são evidentes quando observamos as próprias plantas. Desenvolveram "vasos" que percorrem o sistema de raízes e caules conduzindo a água e as substâncias alimentares; por isso, são, às vezes, chamadas de "criptógamas vasculares". O quadro sobre seu ciclo de vida ilustra a alternância de gerações.

Alternância de gerações numa samambaia (Pteridófita)



Criptógamas e Espermatófitas

As talófitas, briófitas, psilófitas e pteridófitas são agrupadas conjuntamente e chamadas de *criptógamas* ("órgãos reprodutores ocultos") pois não produzem flores. Não formam sementes, mas esporos. As selaginelas apresentam um estágio intermediário na evolução das sementes. Possuem dois tipos de esporos: uns grandes e outros pequenos. Os grandes, ou "megásporos", se transformam nos prótalos femininos que apresentam o *arquegônio*, que produz o gameta feminino. Os pequenos, ou *"micrósporos"*, se desenvolvem em *anterídeos* que produzem os gametas masculinos.

Certas criptógamas evoluíram produzindo espécies em que a geração gametofítica foi quase que totalmente suprimida. Não existe como fase independente, mas é representada por algumas células e núcleos apenas quando os esporos germinam. O grão de pólen é o micrósporo em processo de germinação e é um dos seus núcleos que se desenvolve para se tornar o gameta masculino. O óvulo contém o megaprótalo (resultado da germinação do megásporo) e um de seus núcleos se transforma em gameta feminino, a oosfera.

Os grãos de pólen, muitas vezes são espalhados pelo ar e transportados pelo vento. O megásporo não é liberado mas retido dentro do óvulo onde germina. O grão de pólen é capaz de penetrar no óvulo formando o tubo polínico e um de seus núcleos, que será o gameta, o atravessa à medida que ele cresce, até alcançar o óvulo. Aqui, não foi mais necessária nenhuma película de água ou umidade e é este avanço no mecanismo reprodutivo que permitiu às plantas se espalharem e povoarem a terra firme.

Uma vez fertilizada, a oosfera se transforma em embrião e se desenvolve dentro do óvulo o qual formará a semente. Se as condições e o meio ambiente forem adequados, o embrião da semente germinará e produzirá uma nova planta. As plantas, com este tipo de reprodução, formam sementes que são eventualmente expelidas, e, por isso, são chamadas também de Espermatófitas.

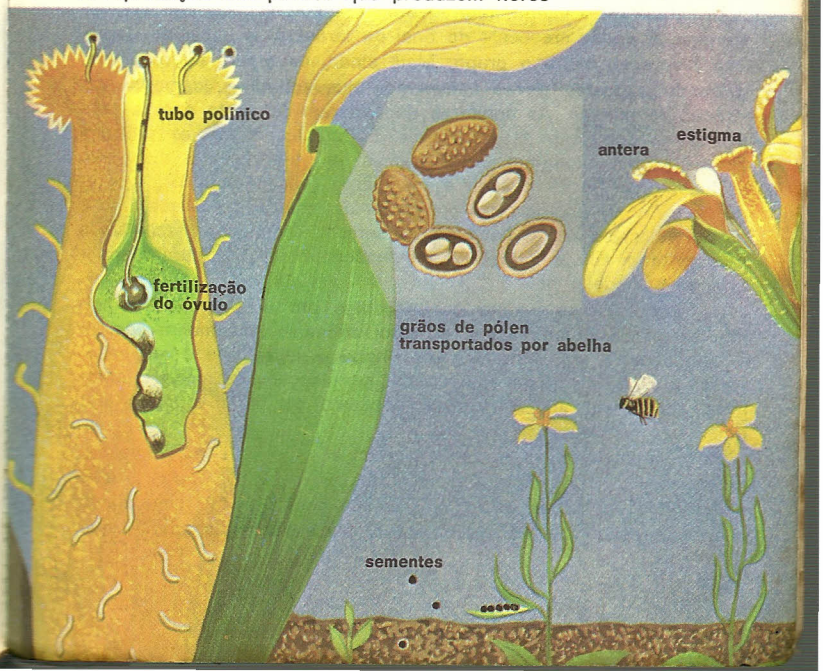
As "gimnospermas" (sementes nuas) são as mais primitivas plantas produtoras de sementes. Entre as espécies vivas encontram-se as cicadáceas, o ginkgos e as coníferas. A madeira verdadeiramente fossilizada das gimnospermas, encontrada em rochas que datam da metade do Devoniano, apresenta uma estrutura com o mesmo grau de especialização que a das coníferas hoje existentes. Muitos grupos parecem ter evoluído durante o Triássico e o Jurássico, atingindo um desenvolvimento máximo para desaparecer logo a seguir. Os fósseis jurássicos mostram características relacionáveis às das atuais araucárias.

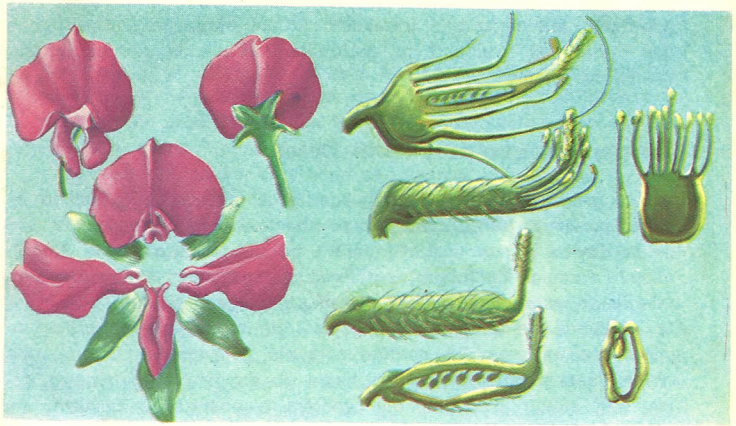
As gimnospermas possuem estróbilos masculinos e femininos. Os estróbilos femininos são formados de um agrupamento de folhas que portam os óvulos, e os estróbilos masculinos de um agrupamento de estames.

As plantas que produzem flores

Este grupo de plantas abrange cerca de um quarto de milhão de espécies vivas. Neste caso, desenvolveu-se uma proteção total do óvulo devido à sua inclusão dentro de um "ovário"; este é uma câmara formada de folhas carpelares que carregam os óvulos. Projetando-se para cima, sai do ovário um delgado estilete. Sua ponta, chamada de estigma, é pegajosa, de modo que os grãos de pólen que entrarem em contato com ela, aí aderem. Os grãos de pólen descem pelo interior da haste do estigma e o primeiro deles que atingir o óvulo, que contém a oosfera, o fertiliza. As plantas que apresentam este tipo de reprodução são chamadas de "angiospermas", sendo esta a denominação geral de todas as plantas que produzem flores verdadeiras e cujas sementes estão encerradas em um fruto. São tão altamente organizadas que é problemático apontar qual é a mais simples dentre elas.

A reprodução nas plantas que produzem flores





Anatomia de uma flor

As evidências fósseis parecem indicar que as angiospermas se desenvolveram durante o Cretáceo. Certos grupos originaram as gramíneas que foram muito importantes na evolução dos animais de pasto, providos de cascos, como os cavalos, os veados, os antílopes e o gado em geral.

Evidentemente, muitos fatores influíram no sucesso das angiospermas. A aridez crescente do final do Jurássico e início do Cretáceo favoreceu muito o grupo. Mais ainda, os mares se retraíram, deixando expostas terras lamacentas que foram rapidamente povoadas de plantas. As coníferas dependeram do vento para a polinização e dispersão das sementes. Entretanto, dentre as próprias angiospermas, evoluíram várias formas de polinização e dispersão efetuadas por insetos, aves e mamíferos (ver página 65). Apesar de cada flor de angiosperma comportar na maioria dos casos ambas as partes, masculina e feminina, há sempre complexos mecanismos para evitar a autopolinização e conseqüentemente assegurar a polinização cruzada.

As angiospermas podem ser divididas em dois grupos principais: as monocotiledôneas e as dicotiledôneas. A semente contém o "cotilédone", uma estrutura semelhante à folha, que é responsável pela alimentação do embrião em germinação. As monocotiledôneas apresentam um cotilédone enquanto as dicotiledôneas têm dois.

As *monocotiledôneas* incluem as gramíneas, os lírios, as palmeiras, os abacaxis, as orquídeas e os açafrões entre muitas outras. Todas apresentam cotilédone único, que cresce para produzir uma planta cujas folhas têm inervação paralela. Outro aspecto distintivo é que

Exemplos de monocotiledôneas

não ocorre, em geral, nenhum espessamento nos caules para formar casca, madeira ou medula.

As *dicotiledôneas* incluem a grande maioria das angiospermas, como os legumes (excluindo a cebola), espécies frutíferas, os arbustos, as árvores em geral, excluindo as gimnospermas e palmeiras, e a maior parte das plantas de jardim (exceto os lírios, as orquídeas e as tulipas).

Exemplos de dicotiledôneas

O QUE HÁ PARA LER

A TEORIA DA EVOLUÇÃO, Maynard Smith, J., Lisboa, Editora Ulisséia Ltda.

PROCESSOS DE EVOLUÇÃO ORGÂNICA, Stebbins, G. L., São Paulo, Editora Polígono e Editora da Universidade de São Paulo

O SIGNIFICADO DA EVOLUÇÃO, Simpson, G. L., São Paulo, Editora Pioneira.

GENÉTICA E EVOLUÇÃO, Petit, C. e G. Prevost, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. e Editora da Universidade de São Paulo.

DIVERSIDADE ANIMAL, Hanson, E. D., São Paulo, Editora Edgard Blücher e Editora da Universidade de São Paulo.

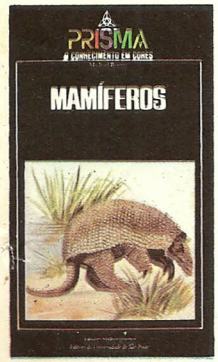
A EVOLUÇÃO DA VIDA, Rhodes, F. H. T., Lisboa, Editora Ulisséia Ltda.

GENÉTICA DO PROCESSO EVOLUTIVO, Th. Dobzhansky, Editora Polígono e Editora da Universidade de São Paulo.

INTRODUÇÃO À EVOLUÇÃO, P. A. Moody, LTC e Editora da Universidade de Brasília.

OS LIVROS DE PRISMA

1. **EVOLUÇÃO DA VIDA**
   Catherine Jarman
2. **MAMÍFEROS**
   Michael Boorer
3. **FOGUETES E MÍSSEIS**
   John W. R. Taylor
4. **HEREDITARIEDADE**
   Ronald Withers
5. **O PLANETA TERRA**
   I. O. Evans
6. **O CORPO HUMANO**
   Paul Lewis e David Rubenstein
7. **ASTRONOMIA**
   Iain Nicolson
8. **O HOMEM FÓSSIL**
   Michael H. Day
9. **EXPLORAÇÃO SUBMARINA**
   Hen Roscoe
10. **MAGIA NEGRA E FEITIÇARIA**
    Peter Haining
11. **PLANTAS PARA CASA**
    Joan Compton
12. **ANIMAIS PRÉ-HISTÓRICOS**
    Barry Cox
13. **CARROS FAMOSOS**
    D. Burgess Wise
14. **ARQUEOLOGIA**
    Francis Celoria
15. **EXPLORAÇÃO DOS PLANETAS**
    Iain Nicolson
16. **COMPUTADORES**
    John Clark
17. **PREVISÃO DO TEMPO E CLIMA**
    A. G. Forsdyke
18. **ENERGIA ATÔMICA**
    Matthew J. Gaines
19. **ELETRÔNICA**
    Roland Worcester
20. **CAVALOS**
    Judith Campbell
21. **ELETRICIDADE**
    D. R. G. Melville
22. **MATEMÁTICA**
    Charles Solomon
23. **REINO VEGETAL**
    Ian Tribe
24. **SERPENTES**
    John Stidworthy



PRÓXIMO LANÇAMENTO

MAMÍFEROS
Michael Boorer
Volume nº 2 da Série "Prisma"

EXPEDIENTE

Coordenação e Supervisão Editorial: Décio Diêgoli
Assessoria de Propaganda e Imprensa: Moisés Vilaça
Produção Editorial: F. Wimmer (Coordenação); Prof. João Ribas da Costa; Ottokar Hans Hoeldtke; Aleixo Rosut; Brasilino Feliciano da Silva Jr.
Diagramação: DIAGRAM (Planejamentos Gráficos)
Capas: Murta Publicidade
Circulação e Promoção: B. C. Hyppolito
Vendas: José Higino Quadros Costa; Roberto Amaral

Distribuição nas bancas:
FERNANDO CHINAGLIA DISTRIBUIDORA S. A.
R. Teodoro da Silva, 907 - Tels. 258-4848 - 258-5155 - Tel. Chinaglia
20.000 - Rio de Janeiro - GB

FICHA CATALOGRÁFICA
(Preparada pelo Centro de Catalogação-na-fonte,
Câmara Brasileira do Livro, SP)

Catherine, Jarman.
C357e Evolução da vida; tradução de Mathilde Mona Cohen, revisão técnica de João S. Morgante, ilustrações de Peter Thornley. São Paulo, Melhoramentos, Ed. da Universidade de São Paulo, 1974.
ilust. (Prisma)
Bibliografia.
1. Evolução 2. Origem das espécies I. Thornley, Peter, ilust. II. Título.
74-0701 CDD-575

Índices para catálogo sistemático:
1. Evolução : Ciências biológicas 575
2. Origem das espécies : Ciências biológicas 575
3. Vida : Evolução : Ciências biológicas 575

O maravilhoso mundo do conhecimento vive aumentando seus limites.
Ao mesmo tempo, cresce a necessidade nas pessoas de saber cada vez mais sobre mais coisas. É por isso que existe a série PRISMA. Uma série de livros para a família moderna, aberta e inteligente. Onde cada faixa de conhecimento é tratada por um especialista de renome internacional, numa linguagem sempre clara e direta. E as informações são completas e atualizadas, valendo como um verdadeiro curso sobre a matéria. Cada volume trata apenas de um assunto. O que dá ao leitor toda a liberdade possível para escolher o que mais lhe interesse. No mundo de hoje, porém, é quase obrigatório ter uma visão múltipla das mais variadas áreas do saber: E a série PRISMA oferece essa visão de modo fácil, colorido, barato e extremamente eficiente. É um lançamento que equivale a uma grande biblioteca.